

# ESTUDI DE VIABILITAT TÈCNICA I ECONÒMICA DE LA IMPLANTACIÓ D'UN SISTEMA DE TRIGENERACIÓ AMB BIOMASSA EN UN HOSPITAL

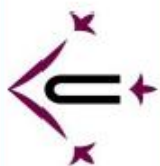
Autor: Jaume Farré Farré

Tutor: Marc Medrano Martorell

Data: Juny 2015



Grau en Enginyeria Mecànica



Universitat de Lleida  
Escola Politècnica Superior

## RESUM DEL PROJECTE

**Títol del projecte:** Estudi de viabilitat tècnica i econòmica de la implantació d'un sistema de trigeneració amb biomassa en un hospital

**Autor:** Jaume Farré Farré

**Director:** Marc Medrano Martorell

Aquest projecte neix a partir de la idea de contribuir a millorar el medi ambient i en l'ús responsable de l'energia primària amb tecnologies d'alta eficiència. En aquest context, el projecte parteix de l'estudi de les necessitats energètiques d'un hospital de referència, un estudi de les millors opcions a nivell tecnològic i ecològic per satisfer en la mesura del possible les necessitats energètiques, un dimensionament de la planta i un estudi de viabilitat del projecte.

L'objectiu principal d'aquest projecte és el de dissenyar una instal·lació de trigeneració per un hospital de 250 llits amb un clima com el de Lleida i que sigui viable econòmicament.

L'hospital estudiat consumeix gas natural amb calderes de gas a partir de la canalització urbana per produir aigua calenta sanitària, calefacció i vapor i consumeix electricitat provinent de la xarxa de distribució per satisfer necessitats d'il·luminació, equips interiors, ascensors, ventilació, aire condicionat, etc. La demanda mitjana de potència tèrmica amb gas natural és de 213,81 kW amb pics de consum de fins a 430,94 kW i la demanda mitjana de potència elèctrica és de 617,81 kW amb pics de fins a 1177,03 kW.

Per l'estudi de la instal·lació s'han tingut que separar les demandes elèctriques dels compressors mecànics per produir fred dels consum d'electricitat per il·luminació, equips, etc. L'hospital actual cobreix les necessitats frigorífiques amb compressors d'un  $COP=4$ , fent que la demanda elèctrica real per fred sigui la simulada multiplicada pel COP. Fent aquests càlculs surten unes potències mitjanes de fred de 231,2 kW, amb pics de fins a 978,09 kW en les hores de més calor a l'estiu.

L'hospital actual compta amb una caldera de gas natural de 1323,93 kW, 2 refredadors amb compressors centrífugs de 649,28 kW cadascun i un  $COP = 4$  i elements auxiliars en la instal·lació d'aigua.

En el dimensionament s'ha optat per substituir la caldera de gas per dos calderes de biomassa de 513 kW i 93 kW, una unitat ORC per produir energia elèctrica i tèrmica residual amb una potència màxima elèctrica de 55 kW i tèrmica de 401,5 kW i dos màquines d'absorció amb potències frigorífiques de 141 kW i 70 kW.

La caldera de biomassa escalfa aigua fins als 140°C i 12 bar amb una temperatura de retorn mínim d'uns 90°C i podent treballar amb càrregues parcials de fins al 50%. En la unitat ORC es requereix una temperatura del fluid en l'evaporador de 140°C cedint 20°C en l'intercanvi tèrmic amb el fluid ORC. Amb aquesta cessió de calor es pot generar fins a 55 kW elèctrics amb un rendiment del 10% i una gran part d'energia tèrmica per l'escalfament d'aigua. En les màquines d'absorció es requereix una temperatura d'entrada del fluid d'entre 70-80°C, sortint aigua freda a 7°C. Aquestes unitats aniran acompanyades de torres de refrigeració a temperatures del fluid refrigerant rondant els 30°C en l'entrada de la màquina.

Pel que fa a l'elecció del repartiment de potència tèrmica en la instal·lació, s'ha optat per prioritzar la demanda de calor de calefacció i ACS ja que són les demandes que depenien anteriorment de la caldera de gas natural i l'energia tèrmica sobrant es destinarà als equips d'absorció per cobrir part de la demanada frigorífica. També s'ha optat per destinar la part d'energia elèctrica generada en la unitat ORC en l'autoconsum dels compressors de fred en moments en que les màquines d'absorció ho requereixin. En els mesos d'hivern on les demandes de fred són baixes, la part sobrant d'energia elèctrica generada es destinarà a altres equips de l'hospital per tal de reduir el consum elèctric general.

S'obté un rendiment global de la instal·lació del 76,88%, sent més que acceptable.

Finalment, s'ha fet un petit estudi econòmic de la instal·lació. S'ha comptabilitzat un inversió per la implantació de la trigeneració de 364.751,00 € i una diferència anual de costos respecte l'estat amb trigeneració o sense trigeneració de més de 50.000 €. Amb aquests cash-flows anuals s'amortitza la instal·lació en 7 anys i 6 mesos, amb una taxa de rentabilitat del 8,564%.

## ABSTRACT

**Project Title:** Technical and economic feasibility study for the establishment of a biomass trigeneration system in a hospital

**Author:** Farré Farré, Jaume

**Director:** Medrano Martorell, Marc

The motivation behind this project was born from the idea of contributing to improving the environment and the responsible use of primary energy with high-efficiency technologies. In this context, the project is based on the study of the energy needs of a referral hospital, a study of the best technological and environmental choices to cover as much as possible the energy needs of the plant and sizing study feasibility of the project.

The main objective of this project is to design an installation of trigeneration for 250 beds hospital with the climate of Lleida and economically viable.

The hospital studied consumes natural gas with gas boilers coming from urban network to produce domestic hot water, heating and steam and consumes electricity from the distribution network to cover the needs of lighting, interior equipment, elevators, ventilation, air conditioning, etc. The average demand of natural gas thermal power is 231,81 kW with peaks up to 430,94 kW and the average demand for electrical power is 617,81 kW with peaks up to 1177,03 kW.

For a correct study of the installation we have been taken to separate electrical demands of mechanical compressors to produce cold of electricity consumption by lighting, equipment, etc.

The hospital at the present cools water with mechanical compressors with COP=4 so by multiplying the electrical demands of the compressors by the COP we obtain an estimate of the final power demands for air conditioning. Doing these calculations we obtain average cool power 231,2 kW, with peaks up to 978,09 kW in hottest hours of summer. The hospital also has a natural gas boiler of 1323,93 kW, two chillers with centrifugal compressors of 649,28 kW and COP=4 and auxiliary elements in the water installation.

In the sizing was decided to replace the gas boiler by two biomass boilers of 513 kW and 93 kW, an ORC unit to produce electricity and residual with maximum electrical power of 55 kW and thermal power of 401,5 kW and two absorption refrigerating machines with power of 141 kW and 70 kW.

The biomass boiler warm water up to 140°C and 12 bar with a minimum return temperature of 90°C and can work with partial loads of up to 50%. In the ORC unit was required temperature of



the fluid in the evaporator at 140°C losing 20°C in the heat exchange with the fluid ORC. This transfer of heat can generate 55 kW electric with a yield of 10% and a large part of thermal energy for heating water.

In absorption machines require a fluid inlet temperature of 70-80°C, leaving cold water to 7°C. These units will be accompanied by cooling towers at coolant temperatures hovering around 30°C at the entrance of the machine.

Regarding the choice of the distribution of thermal power in the facility, we has chosen to prioritize heat demand for heating and sanitary hot water because are demands that previously depended by gas boiler. The thermal excess energy will go to cover part of the absorption refrigerating demand. It has also been decided to allocate the electricity generated in the ORC unit to cover part of needs in the electrical chillers at times that require the absorption machines. In the winter months where the cold demands are low, the excess electricity generated will go to other parts in the hospital in order to lower the overall power consumption.

We get an overall performance of the installation of 76,88%, being more than acceptable.

Finally, there has been a small economic study of the installation. The investment costs for implementing trigeneration are 364.791,00 € and an annual cost difference compared to the trigeneration or without trigeneration is more than 50.000 €. With these annually cash-flows we recover the investment in 7 years and 6 months, with a profitability rate of 8,564%.

## ÍNDEX GENERAL



## ÍNDEX GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓ.....</b>	<b>11</b>
1.1. OBJECTIU .....	11
1.2. MOTIVACIONS DEL PROJECTE.....	11
1.3. ABAST DEL PROJECTE.....	12
1.4. CONCEPTES GENERALS.....	12
1.4.1. La cogeneració.....	12
1.4.1.1. Avantatges de la cogeneració.....	13
1.4.1.2. Perfils habituals d'usos de cogeneració .....	13
1.4.1.3. Tecnologies principals de les cogeneracions .....	15
1.4.2. La trigeneració en hospitals .....	22
1.4.3. Refrigeració per compressió i absorció.....	24
1.4.3.1. Refrigeració per compressió .....	24
1.4.3.2. Refrigeració per absorció.....	25
1.4.3.2.1. Definició de l'absorció.....	25
1.4.3.2.2. Conceptes bàsics en l'absorció.....	26
1.4.3.2.3. Components equips d'absorció .....	28
1.4.3.2.4. Principals aplicacions de l'absorció .....	29
1.4.3.3. Diferències entre la compressió i l'absorció .....	29
1.4.4. Concepte de biomassa.....	31
1.4.5. Tipus de biomassa.....	32
1.4.6. Aplicacions de la biomassa.....	32
1.5. ESTAT DE L'ART.....	35
1.5.1. Situació energètica actual .....	35
1.5.1.1. Introducció.....	35
1.5.1.2. Perspectives de futur.....	35
1.5.1.3. Demanda mundial d'energia .....	36
1.5.1.4. Demanda energètica a Espanya .....	36
1.5.1.5. Eficiència energètica a Espanya.....	38
1.5.1.6. Cogeneració a Espanya.....	40
1.5.1.7. Energies renovables .....	43
1.5.1.8. El cas de la biomassa .....	44
1.5.2. Pla de l'Energia 2012-2020 .....	45
1.5.3. Marc legal referent a la cogeneració .....	47
1.5.3.1. Marc Europeu .....	47
1.5.3.2. Marc Estatal.....	48
1.5.3.3. Marc Autònom.....	50
1.5.4. Normativa calefacció i ACS .....	50
1.5.5. Normativa aire acondicionat .....	51
1.5.6. Normativa refrigeració per absorció .....	51
<b>2. DADES DE L'EDIFICI DE L'ESTUDI.....</b>	<b>53</b>
2.1. DADES DESCRIPTIVES DE L'EDIFICI .....	53
2.2. UBICACIÓ.....	55
2.3. CLIMATOLOGIA.....	55
2.4. CÀLCUL DE L'OCUPACIÓ .....	57
2.5. DESCRIPCIÓ DELS SISTEMES DE L'EDIFICI.....	58
2.5.1. Climatització.....	58
2.5.2. Aigua calenta sanitària (ACS) .....	60
2.5.3. Il·luminació.....	60
2.5.4. Altres equipaments .....	61

<b>3. BALANÇ DE CONSUM ENERGÈTIC DE L'EDIFICI A ESTUDIAR .....</b>	<b>65</b>
3.1. BALANÇ DEL CONSUM ELÈCTRIC MENSUAL.....	65
3.1.1. Calefacció .....	65
3.1.2. Refrigeració .....	66
3.1.3. Il·luminació interior i exterior .....	67
3.1.4. Sistemes d'aigua .....	68
3.1.5. Ventilació.....	69
3.1.6. Equips i maquinària interiors mensual.....	70
3.1.7. Equips i maquinària exteriors mensual .....	71
3.1.8. Bombes hidràuliques mensuals.....	72
3.1.9. Altres consumidors .....	73
3.1.10. Resum consum elèctric mensual .....	74
3.2. BALANÇ DEL CONSUM DE GAS NATURAL MENSUAL .....	75
3.2.1. Caldera principal.....	75
3.2.2. Caldera secundària (ACS) .....	76
3.2.3. Equips i màquines amb gas.....	77
3.2.4. Resum consum de gas mensual.....	78
3.3. RESUM CONSUM ENERGÈTIC MENSUAL .....	79
3.4. BALANÇ DEL CONSUM ELÈCTRIC I DE GAS NATURAL DIARI .....	80
3.4.1. Dia típic gener.....	80
3.4.2. Dia típic febrer.....	80
3.4.3. Dia típic març .....	81
3.4.4. Dia típic abril.....	81
3.4.5. Dia típic maig .....	82
3.4.6. Dia típic juny .....	82
3.4.7. Dia típic juliol.....	83
3.4.8. Dia típic agost.....	83
3.4.9. Dia típic setembre.....	84
3.4.10. Dia típic octubre .....	84
3.4.11. Dia típic novembre.....	85
3.4.12. Dia típic desembre .....	85
3.5. RESUM D'USOS FINALS DE L'ENERGIA I AIGUA ANUALS .....	87
<b>4. ESTUDI D'IMPLANTACIÓ DEL SISTEMA DE TRIGENERACIÓ .....</b>	<b>89</b>
4.1. TECNOLOGIA A UTILITZAR .....	89
4.2. ESQUEMA BÀSIC DE LA INSTAL·LACIÓ PROPOSADA .....	91
4.3. DIMENSIONAT DEL SISTEMA.....	92
4.3.1. Aspectes previs a considerar.....	92
4.3.2. Elecció de l'equip de trigeneració.....	94
4.3.2.1. DEMANDA TÈRMICA .....	94
4.3.2.1.1. Unitat de generació d'electricitat i energia tèrmica.....	95
4.3.2.1.2. Caldera.....	98
4.3.2.1.3. Màquina absorció.....	102
4.3.2.1.4. Intercanviador ACS .....	104
4.3.2.1.5. Acumulador ACS.....	105
4.3.2.1.6. Bombes hidràuliques.....	106
4.3.2.1.7. Torres de refrigeració.....	106
4.3.2.2. DEMANDA ELÈCTRICA .....	107
4.3.2.3. SISTEMES DE CONTROL DE LA PLANTA DE TRIGENERACIÓ .....	108
4.3.2.3.1. Variables de control .....	108
4.3.2.4. RENDIMENT ELÈCTRIC EQUIVALENT MENSUAL (REE) .....	109
4.3.2.5. RENDIMENT GLOBAL INSTAL·LACIÓ .....	110
4.3.3. Càlculs de les variables dels equips .....	111
4.3.3.1. Circuit de la caldera .....	111
4.3.3.2. Circuit de la unitat ORC .....	111
4.3.3.3. Circuit de la màquina d'absorció .....	112
4.3.3.3.1. Generador .....	112

4.3.3.3.2. Condensador-absorbidor .....	112
4.3.3.3.3. Evaporador.....	113
4.3.3.4. Circuit sistema calefacció i ACS .....	113
4.3.3.5. Sistemes addicionals.....	114
4.3.3.5.1. Intercanviador de calor i acumulador per ACS .....	114
4.3.3.5.2. Equips de refrigeració auxiliars .....	114
4.3.3.5.3. Bombes hidràuliques.....	115
4.3.3.5.4. Torres de refrigeració.....	115
4.3.4. Resultats gràfics .....	116
4.3.4.1. Demandes tèrmiques dies típics mensuals .....	116
4.3.4.2. Demandes frigorífiques dies típics mensuals .....	122
4.3.4.3. Demanda elèctrica dies típics mensuals.....	128
4.3.4.4. Taules de resultats dies típics mensuals .....	134
<b>5. VIABILITAT ECONÒMICA DEL SISTEMA DE TRIGENERACIÓ.....</b>	<b>147</b>
5.1. PRINCIPIS BÀSICS .....	147
5.2. COSTOS ACTUALS .....	147
5.2.1. Consum de gas natural.....	147
5.2.2. Consum d'electricitat .....	150
5.3. COSTOS AMB TRIGENERACIÓ.....	151
5.3.1. Consum de biomassa .....	151
5.3.2. Consum d'electricitat .....	152
5.4. INVERSIÓ INICIAL .....	153
5.5. FLUXOS DE CAIXA .....	154
5.6. VALOR ACTUAL NET (VAN) .....	156
5.7. TAXA INTERNA DE RENTABILITAT (TIR) .....	156
5.8. PERÍODE DE RETORN DE LA INVERSIÓ (PAY-BACK) .....	157
<b>6. IMPACTE AMBIENTAL.....</b>	<b>159</b>
6.1. EMISSIONS ATMOSFÈRIQUES .....	159
6.2. VIBRACIONS.....	160
6.3. SOROLLS .....	161
<b>7. PLÀNOLS .....</b>	<b>163</b>
<b>8. CONCLUSIONS.....</b>	<b>173</b>
<b>9. AGRAÏMENTS.....</b>	<b>174</b>
<b>10. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>174</b>





## 1. Introducció

### 1.1. Objectiu

El present projecte té com a objectiu estudiar la viabilitat tècnica i econòmica d'una instal·lació de trigeneració d'electricitat, calor i fred mitjançant biomassa en un hospital situat a Lleida (Catalunya).

En primer lloc buscar dades de consums energètics d'hospitals i plasmar-les al projecte estudiat. Un cop sabudes les dades energètiques, fer un estudi de la diferent tecnologia i combustibles que proporcionen la major eficiència energètica de la instal·lació.

Finalment, tenint clara l'opció tecnològica, dimensionar el sistema de trigeneració acord amb la normativa vigent, així com l'estudi de viabilitat i econòmic.

### 1.2. Motivacions del projecte

Fa uns anys les fonts d'energia basades amb el consum de combustibles fòssils es van considerar il·limitades i amb un impacte sobre el medi ambient molt baix. En canvi, l'augment massiu de la població mundial i l'increment del consum per càpita d'aquests recursos, ha fet que les reserves petrolíferes només se'ls doni una vida aproximada d'uns 40-50 anys.

També es sap que amb l'actual sistema de consum i producció d'energia, contribueix molt significativament en crear un excés de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera, causant l'efecte hivernacle.

A aquests factors s'ha de sumar la gran dependència mundial d'aquests recursos, provocant diverses crisis energètiques i conflictes internacionals. És per això que els darrers anys s'ha posat èmfasi en la necessitat de buscar fonts d'energia més netes i en optimitzar els recursos i sistemes energètics dels quals disposem.

En el meu cas, l'àrea de l'eficiència energètica i les instal·lacions són camps que sempre m'han interessat i d'aquí sorgeix el meu interès en el projecte.

### 1.3. Abast del projecte

L'abast del projecte es limita a realitzar un estudi de viabilitat tècnica i econòmica d'un sistema de trigeneració amb biomassa mitjançant una turbina de vapor i un sistema de refrigeració per absorció en un hospital a Lleida.

L'hospital té una sèrie de demandes elèctriques, vapor, aigua calenta i refrigeració que es pretendran cobrir amb la nova instal·lació. Les dades de consums energètics s'obtidran a partir d'un software de simulació a partir d'un model d'hospital concret, adaptant-ho al clima de Lleida, fent que els resultats siguin bastant precisos.

Les dades tècniques dels equips del sistema s'obtidran a partir de catàlegs o pels professionals de les diferents empreses.

### 1.4. Conceptes generals

#### 1.4.1. La cogeneració

El terme "cogeneració" s'utilitza per definir aquells processos en els quals es produeix conjuntament energia elèctrica (o mecànica) i energia calorífica útil, a partir d'una font d'energia primària.

La cogeneració és una tecnologia que suposa un increment notable d'eficiència energètica respecte a les centrals convencionals, i per tant un aprofitament millor dels recursos energètics. Els sistemes de cogeneració són una alternativa a la tradicional obtenció d'energia elèctrica subministrada per la xarxa i a la generació d'energia tèrmica mitjançant la combustió de fueloil o gas natural en un generador.

Hi ha indústries que utilitzen aquesta tecnologia per tal d'obtenir electricitat i al mateix temps energia en forma de calor, que s'utilitza en el procés productiu. Aquesta tecnologia no només és òptima en la indústria, sinó que hi ha instal·lacions diverses, com hospitals, complexos esportius i hotels que la utilitzen. A més, si es produeix més electricitat de la que s'utilitza, es pot abocar a la xarxa i vendre-la, amb el consegüent profit econòmic.

#### 1.4.1.1. Avantatges de la cogeneració

El principal avantatge és la major eficiència energètica del procés, ja que s'aprofita tant el calor com l'energia mecànica d'un mateix procés.

Avantatges de la cogeneració:

- Major eficiència energètica en front de sistemes de generació convencionals
- Menor consum d'energia
- Menor producció de contaminants i gasos d'efecte hivernacle
- Generació al mateix punt de consum (no hi ha pèrdues)
- Menor transport en les xarxes elèctriques.

*“Si un sistema de generació elèctric convencional té un rendiment del 30-35%, la cogeneració eleva aquest valor fins al 80-90% si es pot aprofitar tot el calor i electricitat.”*

#### 1.4.1.2. Perfils habituals d'usos de cogeneració

Les aplicacions més comuns d'ús de cogeneració es poden dividir en el sector industrial i el sector dels serveis.

##### SECTOR INDUSTRIAL

Donat que la cogeneració és una manera molt eficient de generació d'energia, la major rendibilitat es presenta als sectors on hi ha una major demanda d'energia. És el cas del sector químic, paper, tèxtil, agroalimentari, ceràmic, etc.

L'únic requisit per implantar un sistema de cogeneració és l'existència d'un consum de calor o fred. La quantitat de consum tèrmic determinarà la grandària de la instal·lació. També s'ha de tenir en compte el tipus de combustible més adient en cada cas.

Com tota instal·lació eficient, la inversió inicial és més alta, per tant el temps de funcionament influirà amb la seva rendibilitat. És a dir, les indústries ideals per instal·lar plantes de cogeneració són aquelles amb un gran consum tèrmic i amb moltes hores de funcionament anual.

Una tria dels sectors industrials més indicats per posar-hi cogeneració són:

- Paper
- Químiques
- Petroquímiques i refineries de petroli
- Agroalimentàries
- Ceràmiques
- Tractament residus
- Depuradores i tractament d'aigua
- Producció de CO<sub>2</sub>

### SECTOR DELS SERVEIS

A priori es pot pensar que l'únic sector amb grans demandes tèrmiques és només l'industrial, no obstant el sector terciari pot obtenir rentabilitat en les plantes de cogeneració ja que tenen grans necessitats tèrmiques, en gran part per la demanda per climatització.

En aquest cas, la utilització d'equips d'absorció és un factor clau, perquè permet un gran augment del número d'hores d'utilització de la calor i una major regularitat de la demanda.

Una llista dels edificis més recomanables d'aplicació són:

- Hospitals
- Hotels
- Col·legis i universitats
- Centres comercials
- Aeroports
- Piscines climatitzades
- Sector residencial

#### 1.4.1.3. *Tecnologies principals de les cogeneracions*

Els elements principals en qualsevol planta de cogeneració són els següents:

- Font d'energia primària: Acostuma a ser gas natural o gasoil. En aquest projecte s'utilitza un recurs renovable i nèt com és la biomassa.
- Motor o mòdul de cogeneració: És l'element encarregat de transformar l'energia tèrmica o química en energia mecànica. Depenent del tipus de planta, poden ser turbines de vapor, turbines de gas o motors alternatius.
- Sistema d'aprofitament de l'energia mecànica: En general està format per un alternador que transforma l'energia mecànica en elèctrica, però també poden ser compressors, bombes, etc., on l'energia mecànica s'aprofita directament.
- Sistema d'aprofitament de la calor: Poden ser calderes recuperadores de la calor dels gasos d'escapament, assecadors, intercanviadors de calor o unitats d'absorció que produeixen fred a partir de calor residual.
- Sistemes de refrigeració: En qualsevol planta, sempre hi ha una energia tèrmica del combustible que no és aprofitada en la planta i que ha de ser evacuada. Els elements típics per fer-ho són les torres de refrigeració, aerocondensadors o intercanviadors de calor. Un dels principals objectius a l'hora de dimensionar una planta de cogeneració és minimitzar la quantitat de calor no aprofitada i que s'evacua a l'atmosfera.
- Sistema de tractament d'aigua: En el sistema de refrigeració i d'aprofitament de calor es requereixen unes propietats físiques i químiques en el fluid de treball, generalment aigua, que fan que es necessitin sistemes de control i tractament.
- Sistema de control: El sistema que governa totes les instal·lacions, cada cop més automatitzat.
- Sistema elèctric: El que permet l'alimentació de tots els equips elèctrics de la planta. La fiabilitat d'aquesta instal·lació és clau, ja que també permet alimentar l'edifici o empresa en situacions de deficiències a la xarxa externa.
- Altres elements: Bombes d'impulsió dels fluids, fluids refrigerants, etc.

La figura 1 mostra un tipus d'instal·lació de cogeneració amb una caldera per escalfar aigua fins a vapor, expansionar-lo en una turbina per crear electricitat i posteriorment aprofitar la calor residual per escalfar aigua.

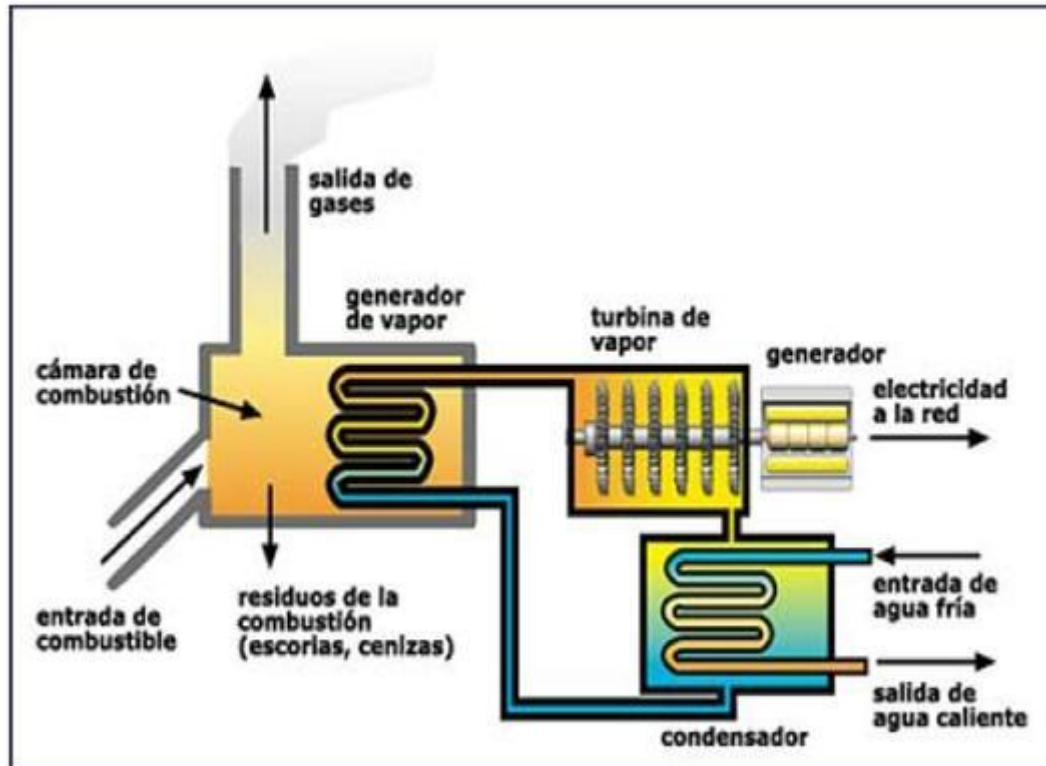


Figura 1. Esquema bàsic d'una instal·lació de cogeneració (font [7])

Dins l'apartat de motor o mòdul de cogeneració existeixen 3 tecnologies convencionals disponibles:

- **CICLE BRAYTON, TURBINES DE GAS (TG)**

Bàsicament està compost per tres parts principals: un compressor, una càmera de combustió i una turbina. Les turbines de gas operen sobre la base del principi del cicle Brayton (figura 2), on l'aire comprimit és barrejat amb combustible i cremat sota condicions de pressió constant. El gas calent produït s'expandeix a través dels àleps de la turbina fent-la girar desenvolupant treball mecànic. En una turbina de gas amb una eficiència del 33%, aproximadament 2/3 del treball produït s'usa per alimentar el compressor. L'altre terç està disponible per generar electricitat a través d'un alternador connectat al seu eix. La calor procedent dels gasos d'escapament s'aprofita en calderes de recuperació. La combustió es produeix amb excés d'aire, el que provoca que els gasos arribin a la turbina amb aproximadament un 15% de  $O_2$ . És en aquesta secció d'entrada a la turbina on es produeixen les més altes temperatures del cicle, arribant a aconseguir 1300 °C. Els gasos d'escapament surten de la turbina a més de 500 °C.

Amb els avenços en l'enginyeria dels materials, aquests límits van augmentant. Els combustibles amb què treballen les turbines són el gas natural, els destil·lats lleugers del petroli (gasoil) i els productes de la gasificació del carbó. Cap combustible emprat pot contenir elements corrosius per als àleps de la turbina.

Característiques generals de les TG:

- Rang de potència : 0,20(microturbines)-100 MW
- Eficiència total: 60-10 %
- Relació potència/calor (E/Q) : 0,5-0,8
- Període d'instal·lació: 9-14 mesos
- Cicle de vida: 15-20 anys

Aspectes positius:

- Disponibilitat acceptable
- Augment de l'eficiència amb l'augment de la potència a subministrar
- Baix pes i reduït volum
- Alta temperatura dels gasos d'escapament, que permeten produir vapor reescalfat a alta pressió susceptible de generar electricitat en un segon pas mitjançant turbina de vapor (cicle combinat)
- Resposta immediata a les variacions de càrrega

Aspectes negatius:

- Necessitat de combustibles nets i adequats per als àleps
- Necessitat de personal especialitzat
- En cas d'usar gas natural, necessitat de subministrament a elevada pressió o utilitzar compressors externs per al mateix

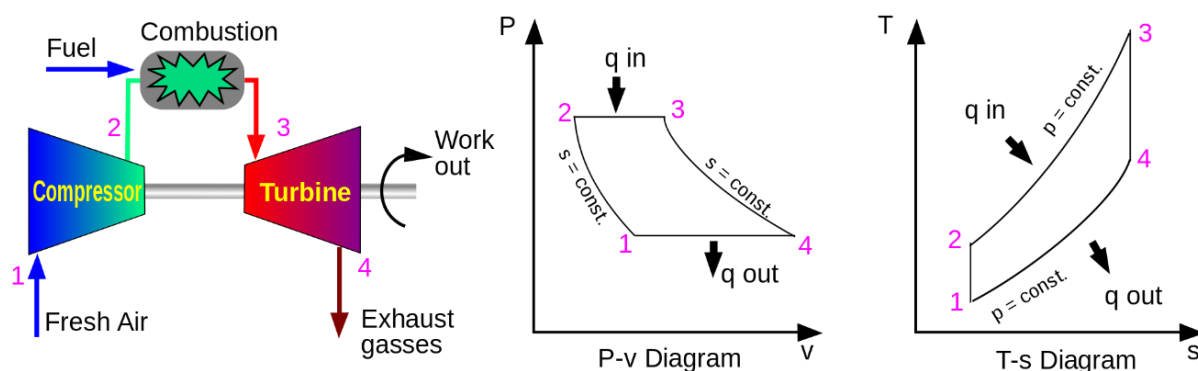


Figura 2. Cicle de Brayton en turbines de gas (font [8])



- **CICLE RANKINE, TURBINA DE VAPOR (TV)**

Està compostat per una font de calor, una turbina de vapor i un dissipador tèrmic. El principi es fonamenta en el cicle de Rankine (figura 3) i utilitza vapor d'alta entalpia per produir treball mecànic i vapor de menor entalpia, a través de l'expansió produïda en el fluid. Aquesta expansió és possible per la variació produïda en el seu volum específic. El fet d'utilitzar el vapor com a fluid de treball es deu a l'elevada energia disponible per unitat de massa. Aquesta ràtio en el cas de l'aigua és tres vegades més gran que en el cas de l'aire. D'aquesta manera, per a una mateixa potència de sortida, la turbina de vapor necessita una despesa màssic tres vegades menor que la turbina de gas. Donada la gran diferència que s'ha d'obtenir entre la pressió d'entrada i de sortida de la turbina, de vegades és necessari produir aquesta expansió en diferents etapes, per tal d'obtenir un millor rendiment de la operació. Però a mesura que augmenta el nombre d'etapes la màquina s'encareix, pel que requereix acceptar compromís entre rendiment i costos d'inversió. La pressió del vapor pot arribar a 100 bars i la seva temperatura als 560 °C.

Les configuracions típiques són:

- Contrapressió: la turbina expulsa vapor a la pressió atmosfèrica o superior. Són les habituals en els mòduls de cogeneració en indústries consumidores de vapor. La pressió de sortida s'adapta a les condicions de servei. El vapor sol sortir de la turbina amb una mica de reescalfament per evitar condensacions sobre els àleps.
- Condensació: la turbina expulsa el vapor a una pressió inferior a l'atmosfèrica
- Sistema de cicle Rankine amb fluid orgànic

Característiques generals de les TV:

- Rang de potència: 1-100 MW
- Eficiència: 60-85 %
- Relació potència/calor (E/Q): 0,1-0,5
- Període d'instal·lació: 12-18 mesos.
- Cicle de vida : 25-35 anys

Aspectes positius:

- Ús de qualsevol combustible a la caldera ja que funcionen amb vapor i no depenen de la tipologia del combustible que s'hagi utilitzat per obtenir-lo.
- Sortida de vapor a la temperatura i pressió desitjades
- La seva robustesa permet llarg cicle de vida

Aspectes negatius:

- Construcció voluminosa, que necessita de la caldera per produir prèviament el vapor .
- Resposta lenta a les variacions de càrrega
- Molt alt cost inicial
- Necessitat de vapor d'alta entalpia

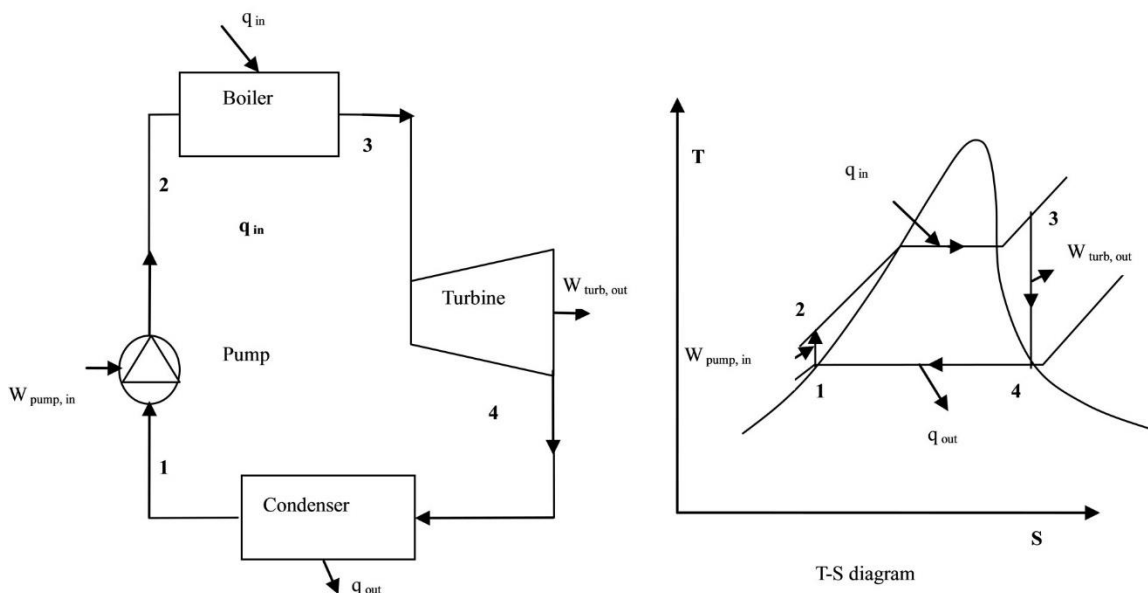


Figura 3. Cicle Rankine en turbines de vapor (font [9])

### • MOTORS ALTERNATIUS DE COMBUSTIÓ INTERNA (MACI)

Poden tractar de motors d'encesa provocat, denominat cicle Otto, o motors d'encesa per compressió, cicle Diesel. En el primer, cicle Otto, es comprimeix una barreja d'aire i combustible en cada cilindre i la ignició es realitza per una espurna subministrada externament. L'energia mecànica està disponible en l'eix, acoblant un alternador per generar electricitat. La calor l'aporten l'aigua de refrigeració de les camises del motor (90-120 °C), la refrigeració del lubricant i els gasos d'escapament (400-550 °C). En el motor de cicle Diesel només es comprimeix aire en el cilindre, i el combustible que s'injecta al final de la compressió, s'inflama a causa de l'alta temperatura i pressió que es produeixen. L'obtenció d'electricitat i calor es realitzen de la mateixa manera que en el cicle Otto. No obstant això, els gasos d'escapament presenten unes temperatures inferiors als del cicle esmentat anteriorment. Pot emprar com a combustible gasolina , gasoil o gasos de combustió , sent el més utilitzat el gas natural i el biogàs.

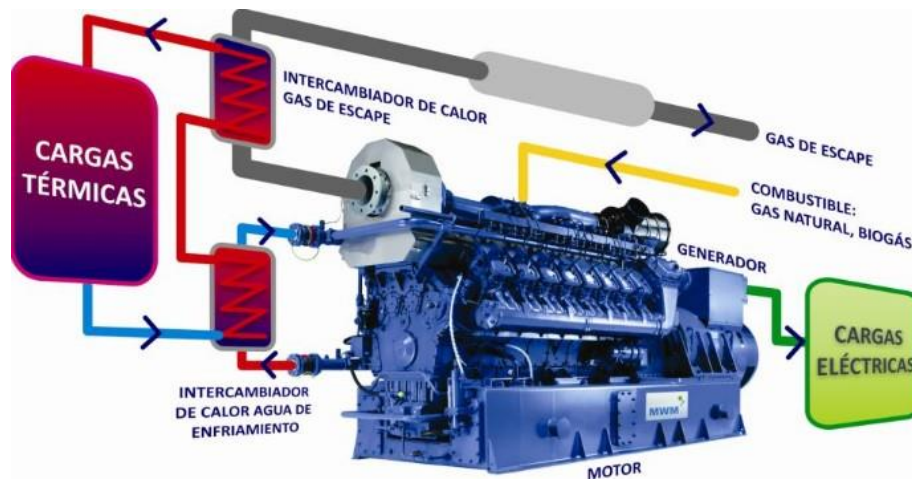


Figura 4. Esquema bàsic cogeneració amb MACI (font [7])

Els motors de gas natural (figura 4) tenen les següents característiques generals:

- Són motors d'encesa provocat
- Tenen major relació de compressió que amb la gasolina. En els motors de gasolina la relació de compressió no supera 9 i en els alimentats per gas natural arriba a 13. El rendiment elèctric arriba a un 40%, i fins i tot més, mentre que en gasolina es queda en un 33%.
- La neteja del gas natural redueix el risc d'autoencesca per partícules a alta temperatura.
- Menors potències que en dièsel.
- La relació calor recuperat / electricitat sol ser major en motors de gas natural petits que en grans motors dièsel.

Aspectes positius:

- La calor recuperat no afecta l'energia mecànica
- Alta disponibilitat
- Calor disponible en dos nivells de temperatura (calor de gasos d'escapament i de les camises dels cilindres )
- Bona resposta a canvis de càrrega
- Modularitat, és habitual connectar diversos motors en paral·lel.

Aspectes negatius:

- Manteniment més laboriós que en turbines

- **CICLE DE RANKINE ORGÀNIC (ORC)**

La diferència principal entre un cicle de Rankine convencional i un d'orgànic és que el fluid de treball d'un ORC és de caràcter orgànic, amb propietats (elevada calor latent, pes molecular i densitat) que permeten la seva evaporació a menor temperatura i pressió en comparació amb l'aigua. Això facilita l'ús de fonts de calor a baixa temperatura com a font d'activació del cicle. Altres avantatges són l'estalvi de costos que suposa el no treballar amb pressions elevades i menor volum específic en la vaporització, resultant instal·lacions més petites.

Les temperatures i pressions de treball d'un ORC depenen fonamentalment del fluid de treball utilitzat, ja que existeixen fluids orgànics de punt d'ebullició baix (R134a, R245fa, R600,...) adequats per rangs de calor entre 90-120 °C i altres per punts d'ebullició amb un rang de 250-300 °C (toluè, n-pentà, olis de silici,...).

En el cas del cicle de Rankine convencional, les temperatures d'evaporació de l'aigua a la pressió d'alta del cicle, són molt majors, fins un màxim de 600°C a uns 300 bar amb temperatures limitades pels materials dels àleps de la turbina.

Un altra diferència important és que es pot treballar amb vapor saturat a l'entrada de la turbina, que en el cas de l'aigua ha de ser vapor sobreescalfat per evitar la condensació a l'interior de la turbina i així deteriorar-la.

També cal dir que la turbina ORC està sotmesa a esforços mecànics menors que la de vapor degut al menor volum específic i els nivells baixos de pressió. Les velocitats angulars també són menors, podent prescindir d'un reductor (menys averies i manteniment).

En la figura 5 es mostra la diferència de diagrame T-s entre l'aigua i el fluid orgànic:

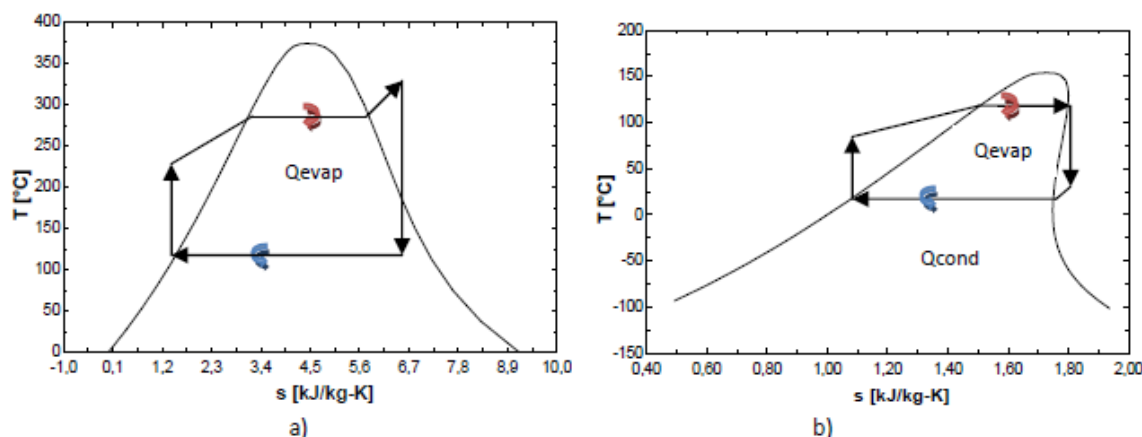


Figura 5. Diagrama T-s a) Aigua b) R-245fa (font [12])

### 1.4.2. La trigeneració en hospitals

Els hospitals, des del punt de vista energètic tenen un gran consum d'energia. A més a més la demanda energètica és alta durant tots els dies de l'any, ja sigui en calefacció, aire condicionat o energia elèctrica. Gran part del consum en hospitals correspon a la climatització (aproximadament un 45%), però també hi ha la part d'il·luminació (35%) i d'ACS (20%).

Gran part dels hospitals tenen un consum energètic superior al d'algunes petites indústries. El consum energètic mig per llit d'un hospital està en 29199 kWh/any, el que suposa aproximadament 4.500 €/any per cada llit.

Els hospitals funcionen ininterrompudament durant tot l'any (8760 hores), i no es poden permetre interrupcions en el subministre elèctric en cap moment. Per aquest motiu, els hospitals estan obligats a instal·lar sistemes autònoms de generació d'electricitat que cobreixin emergències i talls elèctrics que puguin existir en el subministre extern.

Per tant, vistes les dades de demanda energètica en hospitals, és fàcil arribar a la conclusió de que la cogeneració és la millor alternativa.

En el cas dels hospitals, les condicions climàtiques de la regió influeixen directament en el tamany de la planta de cogeneració. En les regions més fredes i amb períodes de temporada hivernal més llargs, està clar que es necessitarà una planta major que en regions més càlides i amb hiverns més curts. Si l'hospital es troba en una regió càlida i amb períodes de calefacció i refrigeració similars, es pot augmentar l'eficiència de la planta afegint un sistema de refrigeració per absorció, resultant un sistema de trigeneració. En zones poc càlides no és rentable econòmicament.

En la regió mediterrània, degut a les condicions climàtiques, és on resulta més viable la instal·lació de trigeneració. En aquestes regions l'interval de temperatures es mou entre els 21-23°C a l'estiu amb temperatures al voltant dels 30°C durant el dia i amb un coeficient de radiació solar superior a 6.5kWh/m<sup>2</sup> per dia.

Les característiques climàtiques de la regió mediterrània són:

- Duració de l'hivern: 120-180 dies/any
- Mesos d'hivern més representatius: Gener i Febrer
- Duració de l'estiu: 120-180 dies/any
- Mesos de l'estiu més representatius: Juliol i Agost
- Graus-dia (base 15) calor: 820-1500
- Graus-dia (base 20) fred: 200-400
- Relació potència refrigeració/calefacció: 0.8-0.15

Els hospitals es poden classificar segons el número de llits:

- Petit: fins a 150 llits
- Mitjà: de 150 a 400 llits
- Gran: més de 400 llits

Segons diversos estudis en hospitals també es sap:

- Àrea ocupada: 45-65 m<sup>2</sup>/llit
- Volum d'aire condicionat: 110-170 m<sup>3</sup>/llit
- Consum d'ACS al dia: 100-150 l/llit
- Capacitat calorífica: 80-130 W/m<sup>2</sup>
- Capacitat frigorífica: 70-120 W/m<sup>2</sup>
- Consum elèctric: 1,5-2 kW/llit
- Relació calor/electricitat: 1,7-3,7

També cal dir que la majoria d'hospitals tenen menys de 400 llits, el que significa que la planta de cogeneració a instal·lar serà menor a 500 kW<sub>e</sub>. L'ideal per aquests hospitals és un sistema de cogeneració amb motors alternatius de gas que generen energia elèctrica i produeixen ACS. El tamany mínim dels motors és de 15 kW<sub>e</sub>.

En el cas d'hospitals de més de 1000 llits on la demanda energètica és superior, es requereixen turbines de gas (0,5-1 MW<sub>e</sub>), que subministren calor en forma de vapor als serveis de bugaderia i esterilització.

En resum, els principals motius pels quals és factible la instal·lació de plantes de cogeneració o trigeneració en hospitals són:

- Els hospitals funcionen 8760 hores a l'any, fent que la instal·lació sigui viable.
- La proporció d'energia tèrmica i elèctrica consumida en els hospitals permet que la cogeneració resulti una solució viable i en regions càlides l'ús de sistemes d'absorció permet una cobertura tèrmica anual regular.
- En hospitals, segons obligacions legals, han de disposar de sistemes autònoms de generació d'electricitat, amb capacitat de cobrir cargues crítiques en cas d'emergència. La cogeneració resol aquest requisit.
- La cogeneració redueix el consum energètic i els costos econòmics.

### 1.4.3. Refrigeració per compressió i absorció

#### 1.4.3.1. Refrigeració per compressió

El mètode de **refrigeració per compressió** és el mètode més utilitzat actualment per a la producció de fred, tant per a processos industrials com per a climatització. En aquest mètode el fluid refrigerant, recorre un cicle termodinàmic que consta de bàsicament quatre etapes: compressió, condensació, expansió i evaporació.

- Compressió: té lloc en un aparell anomenat compressor. En aquesta etapa el fluid refrigerant ha d'entrar en estat de vapor saturat. L'efecte del compressor és augmentar la pressió del fluid mantenint l'entropia a un nivell quasi constant. La següent etapa té lloc en el condensador.
- Condensació: després de l'etapa de compressió, el fluid entra en un intercanviador de calor (condensador) que fa que el fluid passi de nou a l'estat líquid. Aquest procés es desenvolupa a pressió constant i, normalment, el fluid amb qui realitza l'intercanvi és l'aire de l'ambient exterior. El fluid surt com a líquid saturat.
- Expansió: el fluid travessa una vàlvula d'expansió on baixa la seva pressió i temperatura mentre que el nivell d'entalpia roman quasi constant.
- Evaporació: és aquesta l'etapa on es produeix el fred. El fluid frigorígen s'escalfa a pressió constant fins a l'evaporació, pren la calor d'un altre fluid que es refreda (l'aire del frigorífic de la nostra casa, per exemple).

A partir d'aquest punt, el cicle es repeteix de manera indefinida tal i com mostra la figura 6.

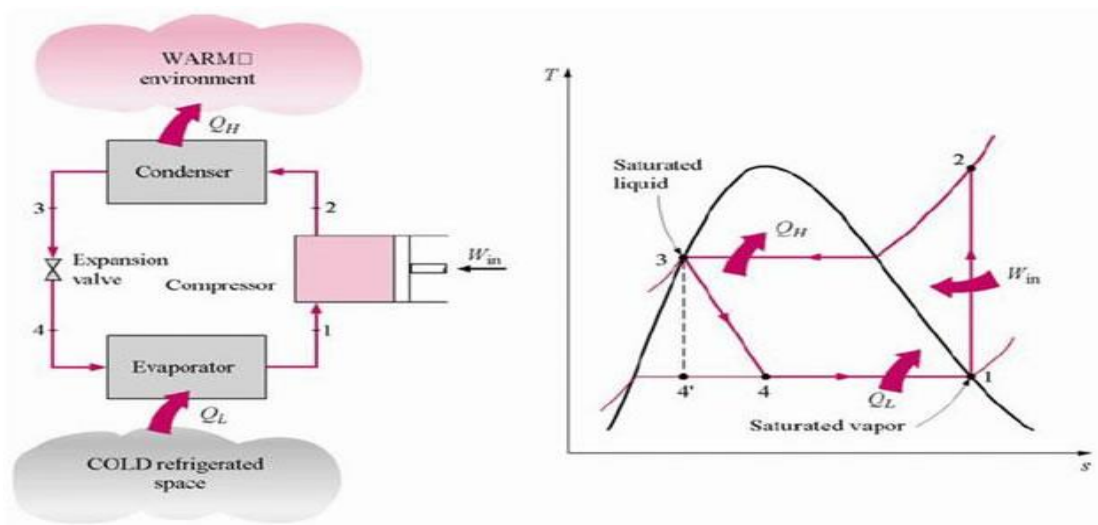


Figura 6. Cicle de refrigeració per compressió i diagrama T-s (font [10])



#### 1.4.3.2. Refrigeració per absorció

##### 1.4.3.2.1. Definició de l'absorció

Per altra banda existeix una altra forma de refredar, anomenada **refrigeració per absorció**.

Mentre que en el cicle de compressió la diferència de pressions s'obté amb un compressor mecànic, en el d'absorció s'aconsegueix aportant calor a una mescla del refrigerant i una altra substància que es caracteritza per tenir una gran afinitat amb aquell i absorbir-lo fàcilment. En el generador on s'aporta la calor, el refrigerant es separa de l'absorbent per ebullició i, per la pressió generada, recorre el circuit d'alta pressió on es condensa (com en el cicle de compressió) fins a evaporar-se de nou a la zona de baixa pressió, on s'associa amb l'absorbent per a poder tornar junts i en estat líquid al generador.

El cicle d'absorció no és una descoberta recent, ja que el primer antecedent és l'experiment fet per l'escocès William Cullen l'any 1755, quan va aconseguir obtenir una petita quantitat de gel en una campana mantinguda a una pressió reduïda. Però, de fet, va ser el francès Ferdinand Carré qui el 1890 va construir la primera màquina d'absorció per a la fabricació de gel.

En l'evolució del cicle d'absorció s'han experimentat diverses parelles de refrigerant/absorbent, però comercialment n'hi ha únicament dues: la formada per l'aigua com a refrigerant i bromur de liti com a absorbent, i la que utilitza l'amoniac com a refrigerant i aigua com a absorbent.

La figura 7 mostra les parts principals d'un sistema d'absorció:

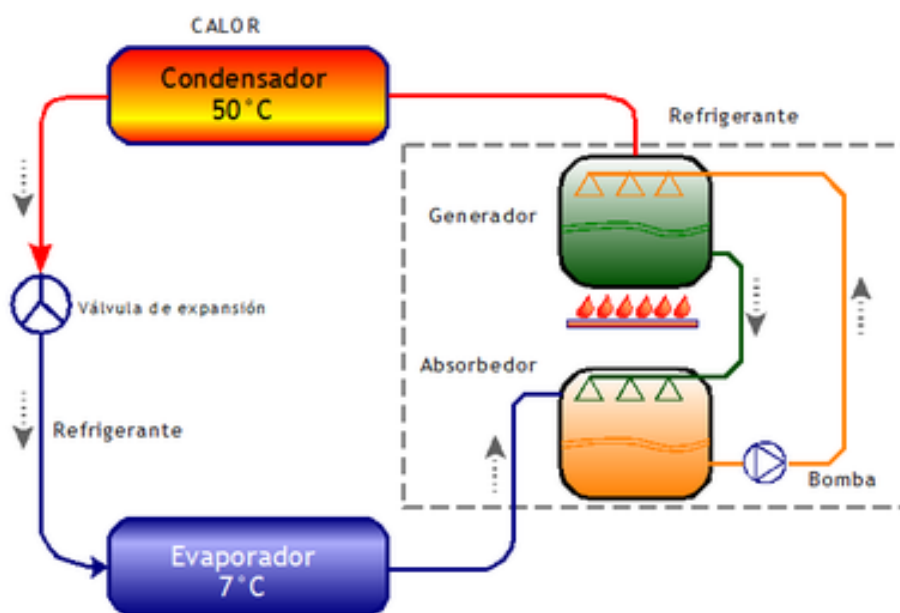


Figura 7. Esquema refrigeració per absorció (font: wikipedia)

Cadascuna d'aquestes dues tècniques té les seves peculiaritats. Mentre que la utilització de l'aigua com a refrigerant limita la temperatura d'evaporació per sobre de 0°C, permet, en canvi, una major eficiència energètica que la que s'aconsegueix amb el cicle d'amoníac que, per la seva banda, presenta l'avantatge de poder baixar les temperatures molt per sota de 0°C i condensar a temperatures més altes.

Per a fer funcionar els equips de refrigeració per cicle d'absorció, s'utilitza calor que pot procedir de molt diverses fonts. Hi ha unitats dites a flama directa, que consumeixen combustibles gasosos o líquids, mentre que d'altres utilitzen la calor aportada per aigua calenta, sobreescalfada o vapor. Aquesta aigua calenta o vapor pot ser residual de processos industrials, d'equips de cogeneració (motors tèrmics o turbines), de piles de combustible, de calderes de biomassa o, fins i tot, escalfada amb energia gratuïta i renovable com la solar. En tot cas, el fet d'utilitzar energia primària en lloc de l'electricitat que ja ha sofert unes pèrdues de producció i transport fa que l'eficiència energètica o COP no es pugui comparar directament. En els processos a més alta temperatura que utilitzen el cicle de doble efecte amb la mescla d'aigua i bromur de liti, s'aconsegueixen eficiències de fins a 1,2 respecte a l'energia consumida, mentre que amb baixa temperatura i en el cicle d'amoníac/aigua és de prop del 0,7.

#### 1.4.3.2.2. Conceptes bàsics en l'absorció

- **Rendiment del cicle d'absorció**

El cicle d'absorció requereix poc consum d'energia mecànica per al bombeig entre l'absorbidor i el generador. Requereix energia tèrmica en quantitat considerable per produir la destil·lació en el generador.

El rendiment d'un cicle d'absorció es denomina COP, i es defineix com:

$$COP = \frac{\text{Efecte refrigerant}}{\text{Calor al generador}} = \frac{Q_E}{Q_G}$$

Les taules 1, 2 i 3 comparen els rendiments, tipus de fluids i avantatges i inconvenients dels dos tipus de màquines d'absorció més utilitzades:

SISTEMA	COP
Aigua / BrLi	0,7
NH <sub>2</sub> / Aigua	0,4-0,5

Taula 1. Rendiment segons el sistema

- **Característiques dels refrigerants i absorbents**

Propietats de refrigerants i d'absorbents			
Component	R-717 Amoníac	R-718 Aigua	BrLi Sal diluïda
Estabilitat química	Intermèdia	Alta	Alta
Toxicitat	Alta	Nul·la	Baixa
Disponibilitat	Alta	Alta	Alta
Efectes contaminants	Baixos	Nuls	Nuls
Calor latent vaporitzat	1,25J/kh	2,5MJ/kg	N/A
Cost	Intermedi	Baix	Intermedi

Taula 2. Taula de propietats dels refrigerants i absorbents

- **Avantatges i desavantatges de les substàncies en sistemes d'absorció**

Avantatges i desavantatges de les substàncies en sistemes d'absorció		
Refrigerant / absorbent	Avantatges	Desavantatges
<b>Aigua / LiBr</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El refrigerant aigua té una alta capacitat calorífica.</li> <li>- La solució de bromur de liti no és volàtil.</li> <li>- Les substàncies no són tòxiques ni inflamables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El sistema no pot refredar a temperatures menors del punt de congelació de l'aigua.</li> <li>- El bromur de liti és solvent en aigua només de manera limitada.</li> <li>- El buit exigeix una alta impermeabilitat del sistema.</li> </ul>
<b>NH / Aigua</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El refrigerant amoníac té una alta capacitat calorífica.</li> <li>- Aplicacions de temperatures molt baixes, fins a -60° C.</li> <li>- Propietats molt bones de transferència de calor i de massa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pressió molt alta del refrigerant (canonades més gruixudes).</li> <li>- Volatilitat del solvent (és necessària una rectificació).</li> <li>- Toxicitat de l'amoníac.</li> </ul>

Taula 3. Taula d'avantatges i desavantatges substàncies en l'absorció

#### 1.4.3.2.3. Components equips d'absorció

La calor produïda a les plantes de cogeneració i la calor residual dels motors tèrmics són fonts tèrmiques que poden ser utilitzades per accionar les màquines d'absorció.

Els sistemes d'absorció utilitzen com a refrigerant l'amoníac, en refrigeració i en aire condicionat, i l'aigua, només en aire condicionat.

Tot i que s'han estudiat diverses combinacions de refrigerant i d'agent absorbent, a la pràctica, a la indústria només s'utilitzen sistemes a base d'amoníac-aigua o d'aigua-bromur de liti.

La màquina d'absorció amb aigua-LiBr es divideix en quatre parts principals tal i com mostra la figura 8, que són:

1. Evaporador: Es produeix l'evaporació de l'aigua (refrigerant). Això permet absorbir la calor latent d'evaporació del sistema que es troba a l'interior dels tubs i refrigera fins a un mínim de  $4,5^{\circ}\text{C}$ .
2. Absorbidor: Es produeix l'absorció de vapor d'aigua per part de la dissolució de sal concentrada de bromur de liti.
3. Concentrador o generador: Es produeix l'evaporació mitjançant una aportació tèrmica suficient, procedent de calors residuals. Amb aquesta evaporació es produeix la separació del refrigerant (aigua) de la solució diluïda de bromur de liti. El refrigerant en forma de vapor passa al condensador, mentre que la solució calenta i concentrada de bromur de liti es bombeja fins als polvoritzadors de l'absorbidor.
4. Condensador: El condensador és un intercanviador de calor en què es produeix la condensació del refrigerant (aigua) procedent de l'evaporació produïda en el generador. Aquest refrigerant condensat està llest per a ser polvoritzat un altre cop sobre els tubs de l'intercanviador de la secció de l'evaporador i així es tanca el cicle d'absorció.

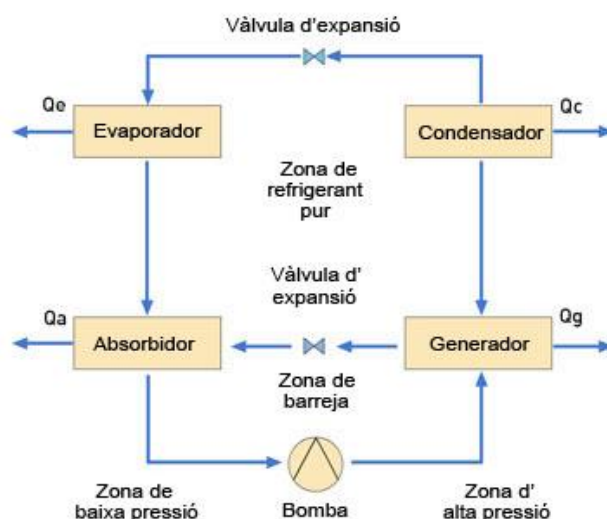


Figura 8. Esquema elements màquina absorció (font [7])

#### 1.4.3.2.4. Principals aplicacions de l'absorció

Els equips de refrigeració per cycle d'absorció poden ser utilitzats de manera tan àmplia com qualsevol altra planta refredadora d'aigua convencional, i les aplicacions per a aire condicionat són les més usuals. Actualment, se n'està intensificant l'ús en instal·lacions del sector terciari que disposen de camps de captadors solars tèrmics per a producció d'aigua calenta sanitària i calefacció, i aquestes instal·lacions, a l'estiu, quan és més gran la disponibilitat de radiació solar, en lloc de dissipar els sobrants, els aprofiten per a obtenir refrigeració gratuïta. L'altra utilització clàssica d'aquests equips és en processos industrials, sobretot on també es fa servir una font de calor residual com a energia per a fer funcionar l'equip.



*Figura 9. Màquina d'absorció amb cycle amoníac/aigua (font [35])*

Respecte a les plantes basades en el cycle amoníac/aigua com a refrigerant/absorbent, poden utilitzar-se, a més, en aplicacions a baixa temperatura, com ara en la cadena de preparació i conservació d'aliments, processos vinícoles, tractament de làctics, preparacions farmacèutiques, etc. De fet, el camp d'aplicació és molt ampli, ja que es tracta d'una tècnica molt desenvolupada, totalment fiable i amb reduïts costos de manteniment.

#### 1.4.3.3. Diferències entre la compressió i l'absorció

Com ja sabem, les tècniques de generació de fred més importants són aquelles que empen els cycles de:

- Compressió mecànica de vapor
- Compressió per absorció

Les diferències fonamentals són:

1. El cycle de vapor consumeix energia mecànica, mentre que el cycle d'absorció consumeix energia tèrmica.
2. En igualtat de condicions, per cada unitat d'efecte refrigerant, es requereix més energia calorífica en el sistema d'absorció que energia mecànica en el sistema de compressió de vapor.
3. El preu de l'energia mecànica és superior al de l'energia tèrmica, que sovint prové d'una font residual pràcticament gratuïta.

La taula 4 compara les tecnologies d'absorció i compressió, aportant més avantatges l'absorció:

Avantatges dels cicles d'absorció davant dels de compressió		
Tipus	Absorció	Compressió
Consum elèctric	✓	✗
Cost inicial	✗	✓
Desgast i manteniment	✓	✗
Soroll	✓	✗
Medi ambient	✓	✗

Taula 4. Taula d'avantatges de l'absorció

A l'hora de fer balanços energètics en els dos tipus de cicle, també hi ha diferències clares:

- Absorció:  $Q_G + Q_E + W_B = Q_C + Q_A$
- Compressió:  $Q_E + W_C = Q_C$

On:

$Q_E$ : Calor absorbit per l'evaporador. [ kW ]

$Q_C$ : Calor cedit pel condensador. [ kW ]

$Q_A$ : Calor cedit per l'absorbidor. [ kW ]

$Q_G$ : Calor absorbit pel generador. [ kW ]

$W_C$ : Potència mecànica consumida pel compressor. [ kW ]

$W_B$ : Potència mecànica consumida per la bomba de la solució. [ kW ]

#### 1.4.4. Concepte de biomassa

La biomassa, en l'àmbit de la tecnologia de les fonts d'energia renovables, és la matèria orgànica d'origen vegetal o animal, que pot ser utilitzada com a font d'energia, ja sigui com a combustible o per altres processos. La biomassa utilitzada com a font d'energia pot incloure material vegetal d'origen agrícola, provinent de conreus destinats específicament a aquesta finalitat o de subproductes o restes d'altres cultius, biomassa d'origen forestal (llenya sobretot), i productes o subproductes d'origen animal, com els fems.

L'energia de la biomassa sol utilitzar-se per al seu aprofitament com a energia tèrmica o, indirectament, per a la generació d'energia elèctrica. A vegades s'inclou també en la biomassa l'obtenció d'energia a partir de residus urbans com la incineració de les deixalles domèstiques o industrials, o la seva metanització i posterior combustió. Finalment altres formes de biomassa són el biogàs i els biocarburants, com el biometà i el biodièsel.

També cal dir que és una font d'energia 100% renovable i amb emissions zero, ja que el balanç d'oxigen i diòxid de carboni queda compensat en el cicle de vida del combustible (figura 10).

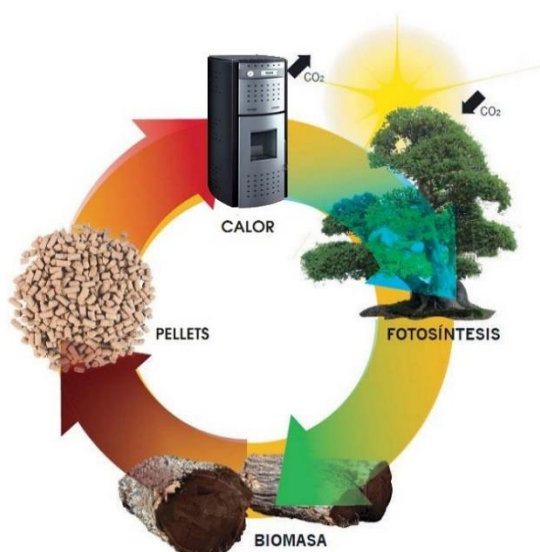


Figura 10. Cicle de la biomassa d'origen forestal (font [11])



#### 1.4.5. Tipus de biomassa

Hi ha una gran varietat de maneres d'obtenir biomassa, però els principals tipus són:

- **Biomassa forestal o llenyosa:** és material llenyós d'origen forestal o de cultius llenyosos. Tradicionalment ha estat una de les primeres fonts d'energia tèrmica utilitzades per l'home en forma de llenya. La biomassa forestal es destina sobretot a l'obtenció d'energia tèrmica per combustió, si bé també es pot utilitzar en centrals termoelèctriques per a generar electricitat.
- **Productes o subproductes agrícoles:** poden ser cultius destinats a utilitzar-se com a combustibles, o subproductes d'altres cultius, com la closca d'ametlla i altres fruits secs, o la pinyolada d'oliva.
- **Biocarburants:** són carburants líquids destil·lats a partir de material vegetal, normalment provinents de cultius agrícoles, per diferents processos industrials. Hi ha dues classes de biocarburants: el biometà i el biodièsel.
- **Biogàs:** és un gas combustible obtingut per digestió anaeròbia de matèria orgànica. Aquesta matèria orgànica pot provenir de vegetals, residus animals (com fems o purins) o residus industrials orgànics. El gas obtingut de la digestió pot utilitzar-se per a l'obtenció d'energia tèrmica per combustió o, indirectament, per a la generació d'electricitat. També es pot obtenir biogàs per la metanització de la fracció orgànica dels residus sòlids urbans.
- **Incineració de residus urbans o industrials:** consisteix en la valoració energètica dels residus sòlids urbans, mitjançant la seva incineració, consistent en la combustió controlada de la fracció que no s'ha pogut reciclar de les deixalles domèstiques.

#### 1.4.6. Aplicacions de la biomassa

Els usos dels diferents tipus de biomassa es poden classificar bàsicament amb 3 grans blocs: aplicacions tèrmiques, aplicacions elèctriques i tèrmiques i elèctriques simultàniament (figura 11).

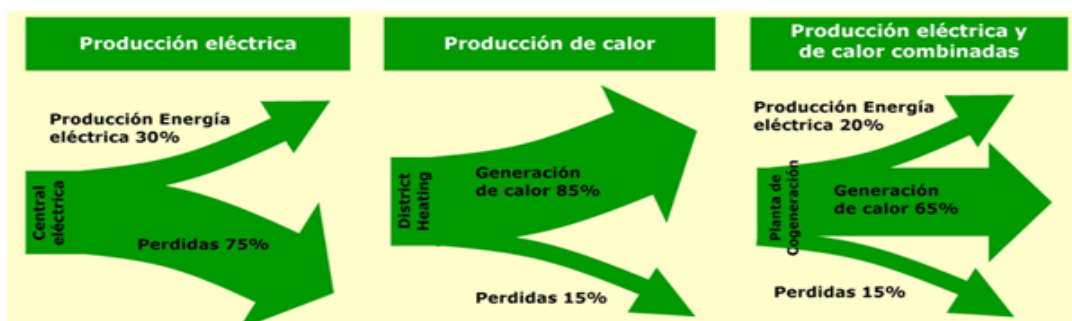


Figura 11. Diferents usos de la biomassa (font [11])

## • ENERGIA TÈRMICA

L'obtenció d'energia tèrmica mitjançant la combustió de biomassa sòlida es realitza amb diferents propòsits. Les aplicacions tèrmiques amb producció de calor i aigua calenta sanitària són les més comuns dins del sector de la biomassa, encara que també és possible la producció de fred, aquesta última opció és més excepcional.

Les aplicacions tèrmiques més comuns de la biomassa són:

- Instal·lacions industrials que produeixen biomassa i on es requereix energia tèrmica en els seus processos. En aquests casos és on es consumeix actualment la major part de la biomassa al nostre país.

- Instal·lacions del sector domèstic i de serveis amb elevada centralització, ja que el cost de la instal·lació per unitat d'energia produïda disminueix significativament amb la mida de la mateixa. Entre altres casos en què les instal·lacions de biomassa són rendibles per al promotor i per a l'usuari, es poden destacar:

- Edificis públics de certa dimensió, com col·legis, hospitals, centres administratius, etc, amb una ubicació que permeti un fàcil subministrament del combustible.
- Edificis d'habitatges amb serveis de calefacció i aigua calenta centralitzats.
- Sistemes de xarxes urbanes, centralitzades o de districte (District Heating)

## • ENERGIA ELÈCTRICA

S'obté principalment de la transformació tèrmica de la biomassa. També es pot generar energia elèctrica a partir de determinats processos de transformació bioquímics. Per generar l'energia elèctrica a partir de la biomassa hi ha diferents sistemes tecnològics:

- Cicle de vapor: basat en la combustió (transformació tèrmica) de la biomassa a partir de la qual es genera vapor el qual mitjançant la seva expansió fa moure una turbina.
- Turbina de gas: basat en la gasificació (transformació tèrmica) de la biomassa. Utilitza els gasos de síntesi obtinguts d'aquest procés, els quals fan moure una turbina. Si els gasos que surten de la turbina s'aprofiten en un cicle de vapor, llavors es parla de cicle combinat.
- Motor alternatiu: motor que utilitza els gasos de síntesi obtinguts a partir de la gasificació de la biomassa.

- **ENERGIA TÈRMICA + ELÈCTRICA**

La cogeneració és el procediment mitjançant el qual s'obté simultàniament energia elèctrica i energia tèrmica útil (vapor, aigua calenta sanitària, gel, aigua freda, aire fred, ...).

La cogeneració amb biomassa permet apropar la generació elèctrica i tèrmica als centres de producció, reduint pèrdues de transport i evitant la construcció de noves plantes d'energia convencional que subministrin aquesta demanda elèctrica i tèrmica. Amb aquestes configuracions s'obtenen produccions elèctriques entre el 15 i el 20% i aprofitaments tèrmics de la calor generat que arriben a una eficiència total del 80%.

## 1.5. Estat de l'art

### 1.5.1. Situació energètica actual

#### 1.5.1.1. Introducció

Segons el darrer llibre de l'Energia del Ministeri d'Indústria de l'any 2013, el consum d'energia primària va baixar un 6% respecte l'any anterior. La demanda d'energia final també va baixar, en aquest cas un 4%, degut a l'impacte de la situació econòmica. La baixada d'aquesta demanda energètica ha fet que l'estructura de generació d'energia elèctrica canviï. S'ha registrat una forta recuperació de la producció hidroelèctrica i una consolidació de la eòlica.

Per tant, l'any 2013 es va registrar un creixement de les renovables per l'abast d'energia primària del 7,5%, arribant al 14,2% del total. Al baixar les demandes energètiques, l'indicador d'intensitat energètica final va baixar un 2,8%, mentre que la intensitat energètica primària ho va fer un 4,9%.

En matèria d'eficiència energètica, Espanya està compromesa amb els objectius europeus d'eficiència energètica, amb l'objectiu d'aconseguir un 20% d'estalvi d'energia primària l'any 2020.

#### 1.5.1.2. Perspectives de futur

- Evolució indústria de la refineria: La caiguda de la demanda a la zona de la OCDE i els canvis amb la recomposició de l'oferta i la demanda, han provocat tensions al sector energètic els darrers anys. Actualment s'està desplaçant la demanda a Àsia i Orient Mitjà, en gran part pel consum de dièsel en el transport públic.
- Electricitat: Respecte la demanda d'electricitat, s'espera un creixement de 2/3 en el període de 2013-2035, amb unes taxes de creixement anual del 2,2%, pels majors nivells d'electrificació en les indústries i edificis. Els països de fora la OCDE, liderats per Xina amb un 36% i Índia amb un 13%, absorbeixen gran part de la demanda.
- Renovables: Es preveu que la demanda primària d'energia provinent de les renovables arribi al 18% l'any 2035. Cal assenyalar que s'espera que 2/3 parts del creixement es produeixi en països fora de la OCDE i que l'energia hidràulica ocupi un 50% de la quota de les renovables l'any 2035. En el cas d'arribar a l'objectiu del 18%, el World Energy Outlook (WEO), indica que s'haurien de fer fortes inversions en tecnologies renovables amb un import d'uns 6500 M\$.

### 1.5.1.3. Demanda mundial d'energia

La demanda energètica mundial segueix creixent a un ritme sostingut des del 2010. El 2013 va créixer un 2%. El consum energètic dels països de fora de la OCDE arriba al 56% del total, degut als forts creixements econòmics en països emergents.

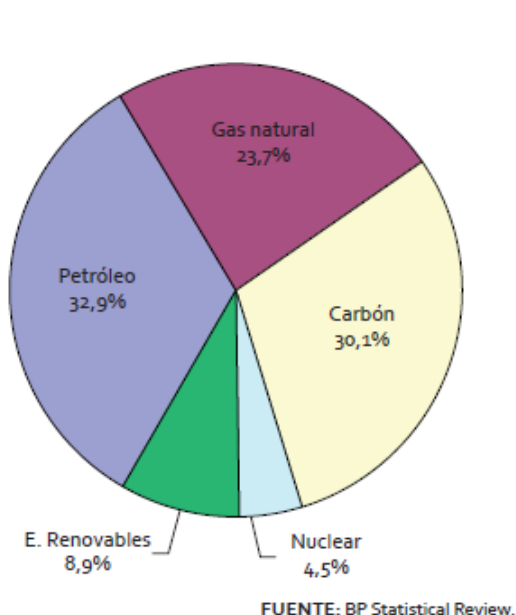


Figura 12. Consum mundial d'energia (font [17])

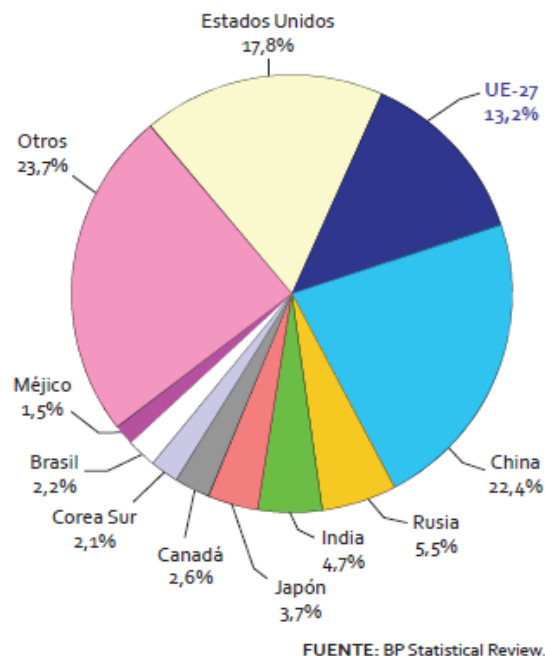


Figura 13. Distribució del consum mundial d'energia (font [17])

### 1.5.1.4. Demanda energètica a Espanya

El consum d'**energia final** a Espanya durant l'any 2013 va ser de 85436 Ktep, un 4% inferior al del 2012. Aquesta baixada va ser deguda bàsicament a la crisi econòmica i a l'estructura dels sectors consumidors.

Per sectors, es va produir un descens de la demanda en la indústria, al baixar la seva activitat. En els sectors residencial i terciari, la demanda també va baixar per menys activitat en els serveis. La demanda de transport va seguir baixant, seguint la tendència del 2008.

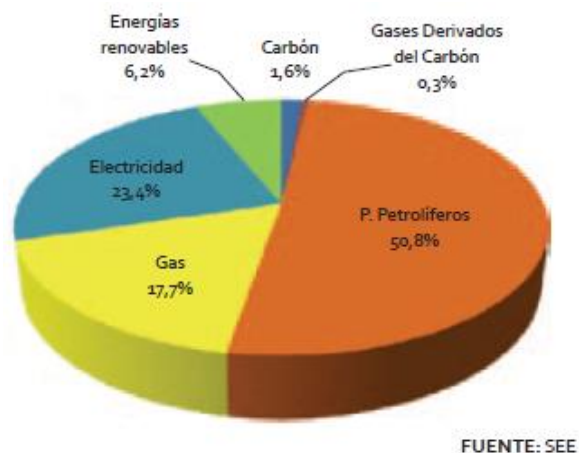


Figura 14. Consum d'energia final a Espanya (font [17])

Pel que fa a la demanda final d'energia elèctrica, va baixar un 3,4% el 2013 i en relació als combustibles, cal destacar que hi va haver un lleuger augment del 0,1% en el consum final de gas. El consum de petroli va baixar un 2,1% i el d'energies renovables finals també degut al canvi de normativa de suport als biocarburants.

Pel que fa al **consum d'energia primària** a Espanya durant el 2013, va ser de 121119 Ktep, amb un descens del 6% respecte l'any 2012. Aquesta demanda s'obté de sumar el consum d'energia final, els consums dels sectors energètics i les pèrdues.

Aquest descens, superior al de l'energia final, va tenir una gran rellevància en el canvi de l'estructura de **producció d'energia elèctrica**. En concret, va caure la generació per carbó i va augmentar significativament la producció hidroelèctrica, eòlica i solar.

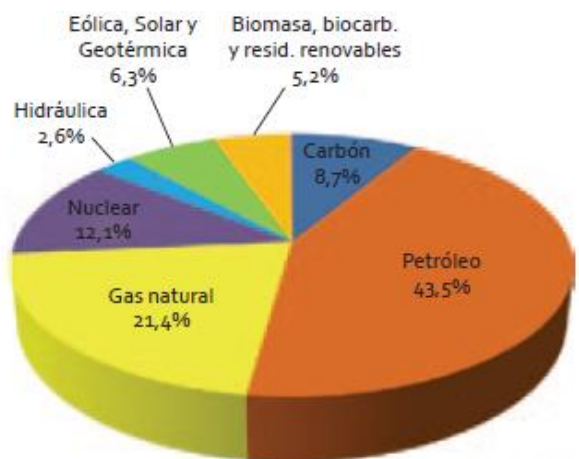


Figura 16. Consum d'energia primària Espanya (font [17])

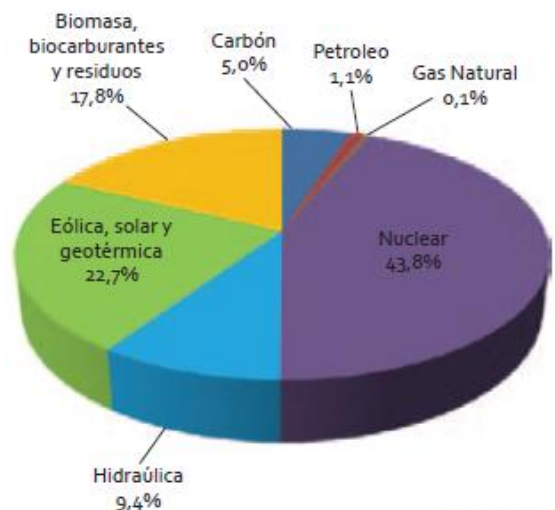


Figura 15. Producció d'energia primària Espanya (font [17])

Finalment també cal destacar l'evolució del consum d'energia primària per unitat de PIB, anomenat **intensitat energètica** (figura 18). El 2013 va baixar un 4,9%, recuperant la tendència de descens. La millora de la intensitat primària va ser major que la final, degut al canvi d'estructura de generació elèctrica, amb major protagonisme per les renovables i una major eficiència de transformació.

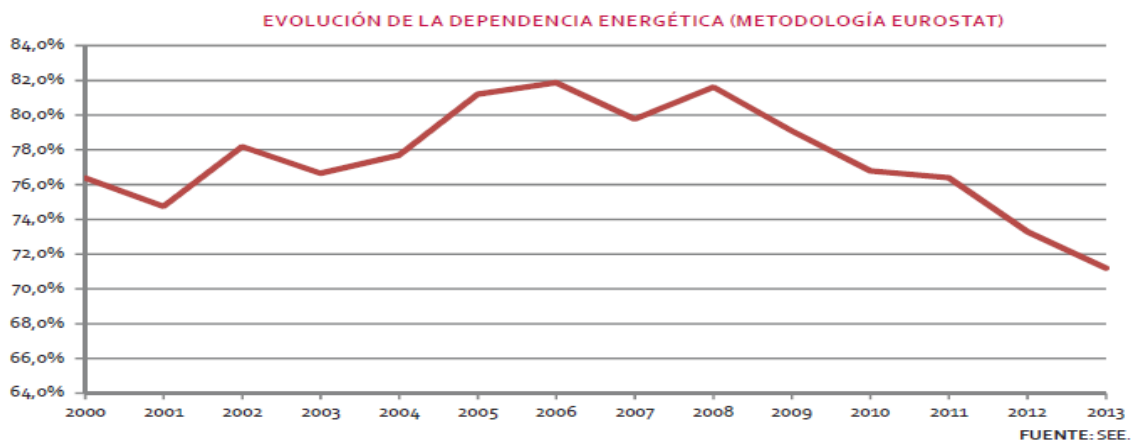


Figura 17. Evolució de la dependència energètica a Espanya (font [17])

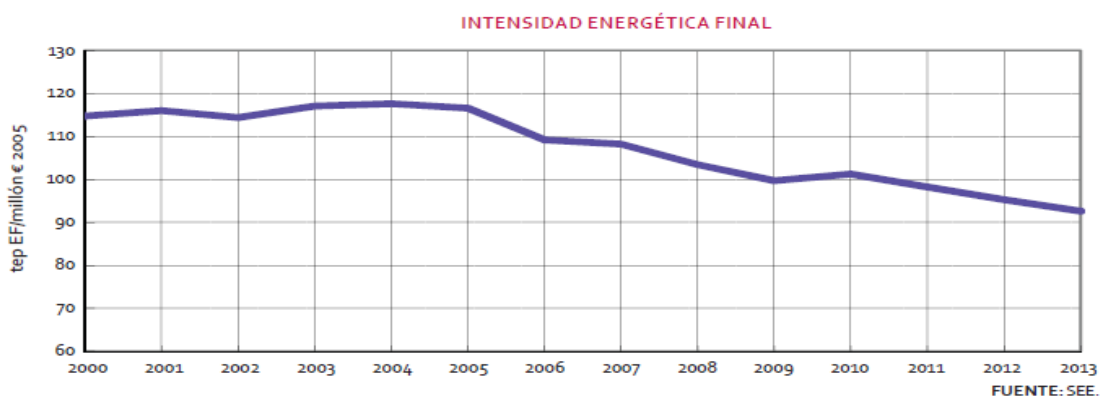


Figura 18. Evolució intensitat energètica final a Espanya (font [17])

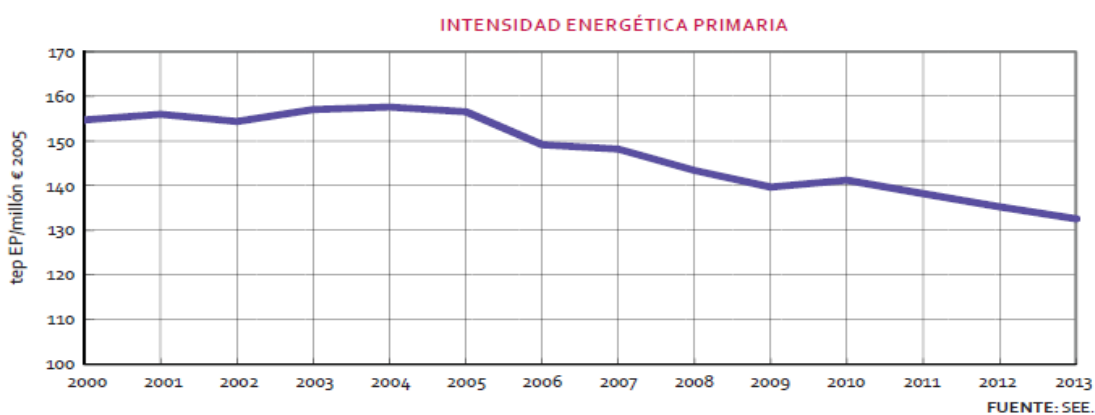


Figura 19. Evolució intensitat energètica primària a Espanya (font [17])

#### 1.5.1.5. Eficiència energètica a Espanya

Segons la última informació disponible sobre la sectorització de la demanda d'energia final, s'observa que es manté en primer lloc el sector del transport amb un 40% de consum total. El segueix el sector industrial amb un 25% de demanda i el residencial amb un 18,7%. Cal destacar que des de l'esclat de la crisi econòmica el 2008, la demanda ha baixat de manera similar en tots els sectors (figura 20).

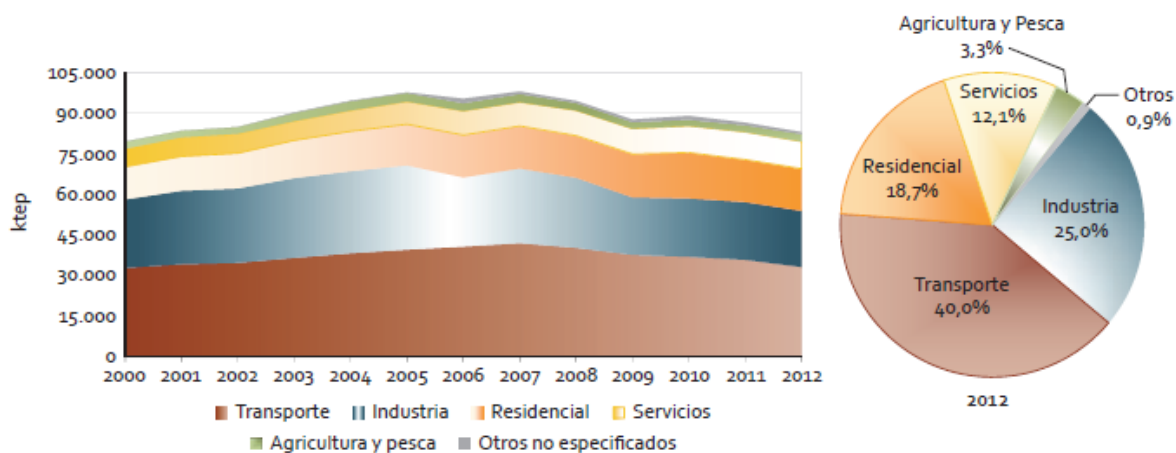


Figura 20. Evolució de la demanda sectorial d'energia final (font [17])

Com que en aquest projecte s'estudia una instal·lació en un hospital, les dades energètiques que ens interessin són les del sector dels serveis.

El sector dels serveis el 2012 va reduir la seva demanda energètica un 1,6%, arribant a un valor de 10043 Ktep. Per altra banda, el valor afegit brut (VAB) es va mantenir quasi estable, amb una lleugera baixada del 0,25%. A conseqüència d'això, l'indicador d'intensitat energètica va millorar un 1,4% (figura 21).

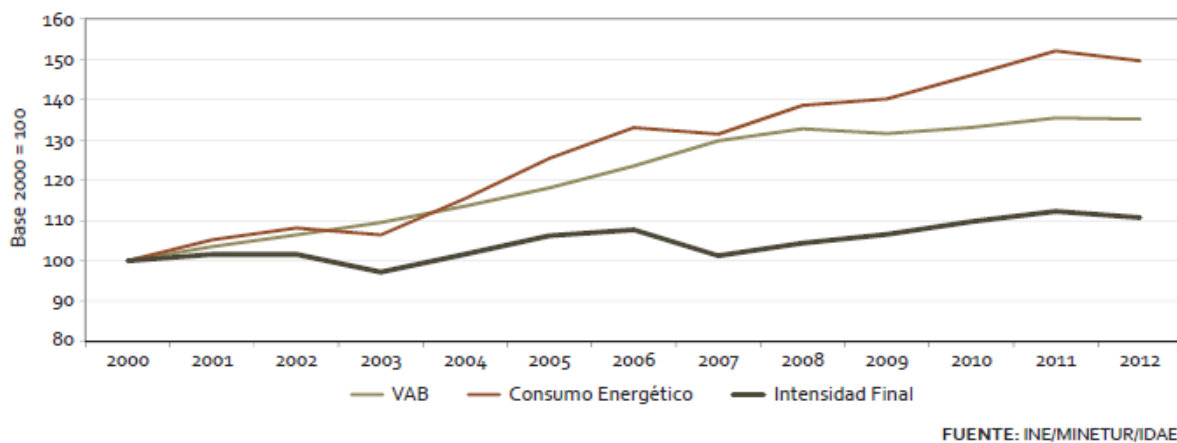


Figura 21. Evolució dels principals indicadors en el sector dels serveis (font [17])

Pel que fa al consum elèctric en el sector dels serveis, fent una comparativa amb els països de la UE, es veu una clara diferència. Aquesta diferència és deguda a que en els països de centre i nord d'Europa tenen una major cobertura mitjançant centrals de cogeneració i district heating. A Espanya, la causa de l'elevat consum elèctric està lligada a la composició sectorial del sector dels serveis. En concret, les necessitats elèctriques amb il·luminació, climatització, informàtica, tecnologies TIC, etc., dels sectors d'oficines i comerç, justifiquen bona part de la demanda del sector.



Les actuacions del govern a fi de fer baixar la intensitat en aquest sector han fet crear diferents Plans d'Acció d'Estalvi i Eficiència Energètica. A més a més, ja s'han fet diagnòstics energètics a uns 4000 edificis públics, amb la intenció de trobar el potencial d'estalvi energètic, el qual s'estima en un 16%.

Per altra banda, amb relació a la il·luminació exterior del sector públic, segons resultats del IDAE, s'ha estimat un tamany de lluminàries de 8 milions, amb un potencial estalvi elèctric per la renovació d'aquestes per unes de més eficients, estalviant entre un 60-80%.

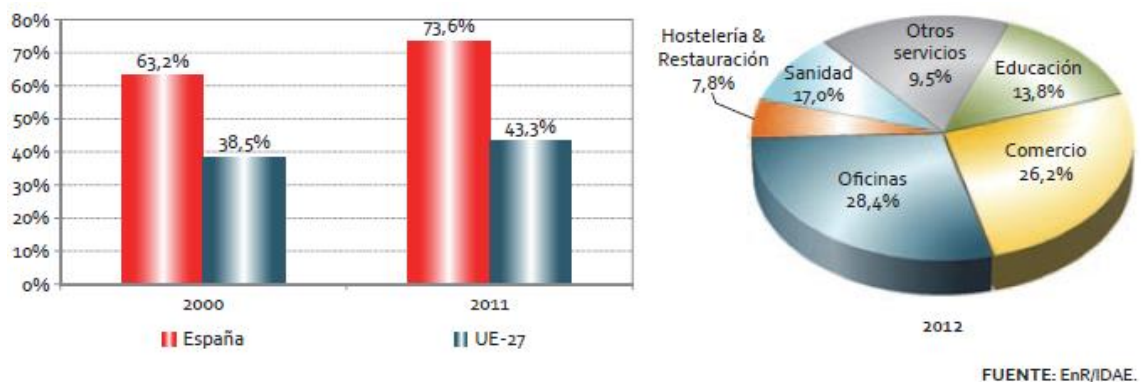


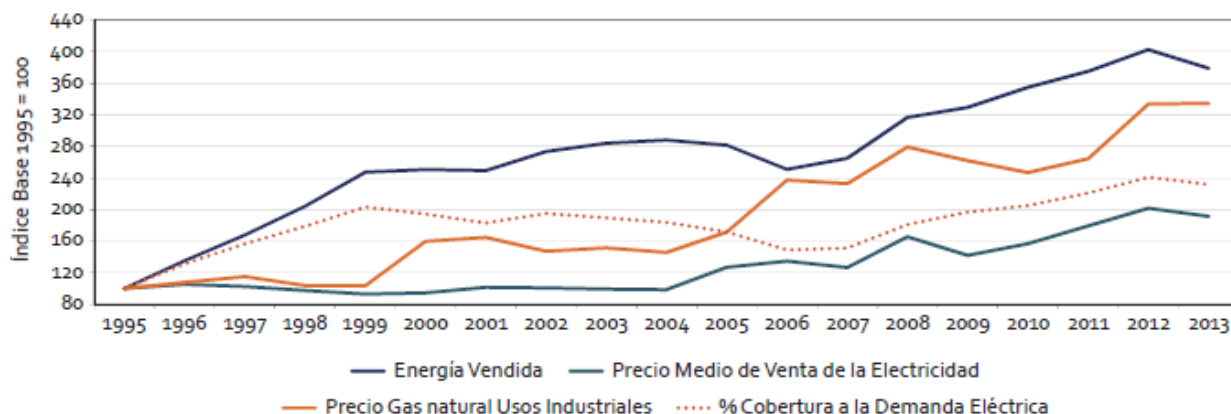
Figura 22. Consum elèctric d'Espanya i UE i estructura de consum a Espanya (font [17])

#### 1.5.1.6. Cogeneració a Espanya

D'acord amb l'informe estadístic del febrer de 2014 de la Comissió Nacional de Mercats i la Competència (CNMC), les instal·lacions operatives de cogeneració a finals de 2013, sumaven una potència total de 5973 MW. Un decrement de 76 MW respecte el 2012.

Segons la mateixa font, la producció elèctrica subministrada a la xarxa va ser de 25352 GWh, disminuint un 5,8% respecte l'any anterior. Clarament està provocada per la caiguda en un 5,1% dels preus de venda d'electricitat.

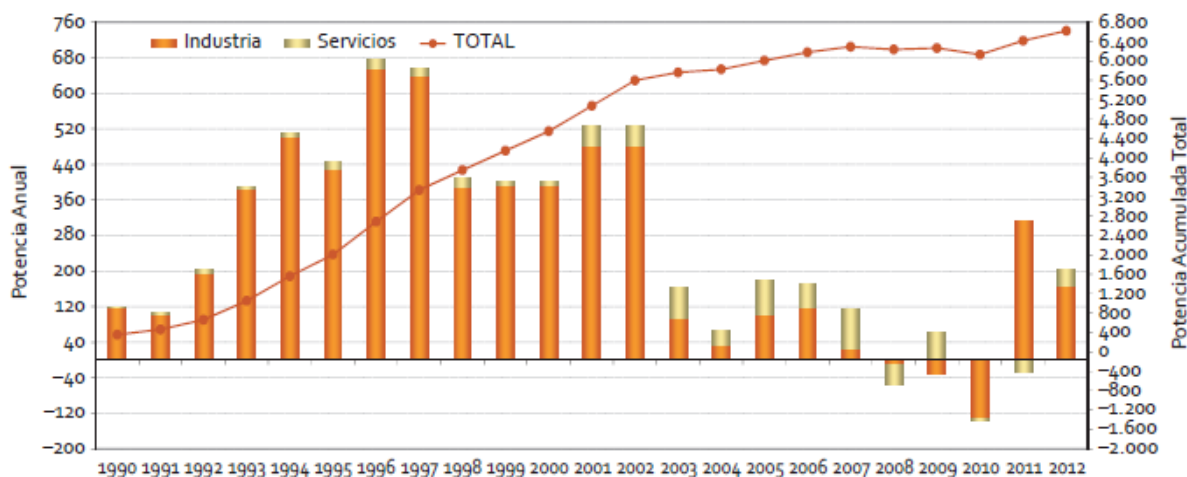
Per altra banda, la cobertura de demanda elèctrica nacional bruta es va mantenir pràcticament estable, amb un lleuger decrement del 3,7%, arribant al 9,75% (figura 23).



FUENTE: CNE/AIE/IDAE.

Figura 23. Energia venuda a la xarxa i cobertura de la demanda elèctrica davant els preus d'electricitat i gas (font [17])

Pel que fa als sectors que utilitzen cogeneració (figura 24), el sector industrial representa el 90% de la potència total instal·lada, amb una mitja de potència de 8,9MW.



FUENTE: MINETUR/IDAE.

Figura 24. Evolució de la potència instal·lada (MW) en cogeneració a Espanya (font [17])

Respecte rendiments de les instal·lacions de cogeneració noves, agafant la referencia de la UE del 75%, el 86,5% superen aquest límit, fent que el rendiment global millori del 67,7% el 2011 al 71,6% el 2012. En quant a tecnologies, dins el grup d'instal·lacions amb un rendiment superior al 75%, la majoria d'altres es corresponen a cicle combinat i motors de combustió interna. Respecte el grup amb rendiment inferior al 75%, les altres corresponen a tecnologia de turbina de vapor (de condensació o a contra-pressió).

En resum, agafant totes les instal·lacions implantades (figura 25), la tecnologia dominant és el motor de combustió amb quasi la meitat de tota la potència instal·lada i més de 3/4 parts del total de les instal·lacions existents. Seguidament destaquen les tecnologies amb cicle combinat i les

turbines de gas, que conjuntament representen més de 1/3 de la potència total, però respecte a número d'instal·lacions només representen el 5% els cicles combinats i un 12% les turbines de gas. Les instal·lacions de cicle combinat són les que tenen una potència unitària mitja més alta amb 37,5MW, mentre que el motor de combustió interna, més nombrosos, tenen un tamany menor, de 5,7MW de mitjana.

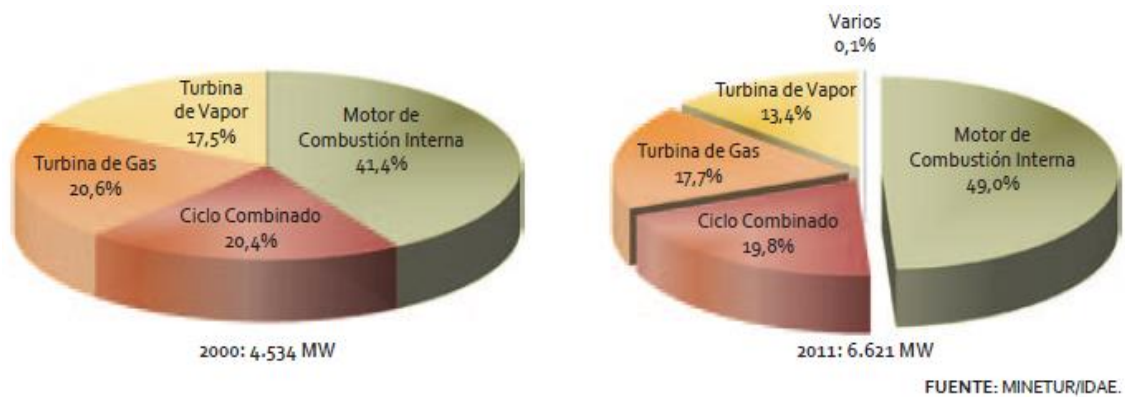
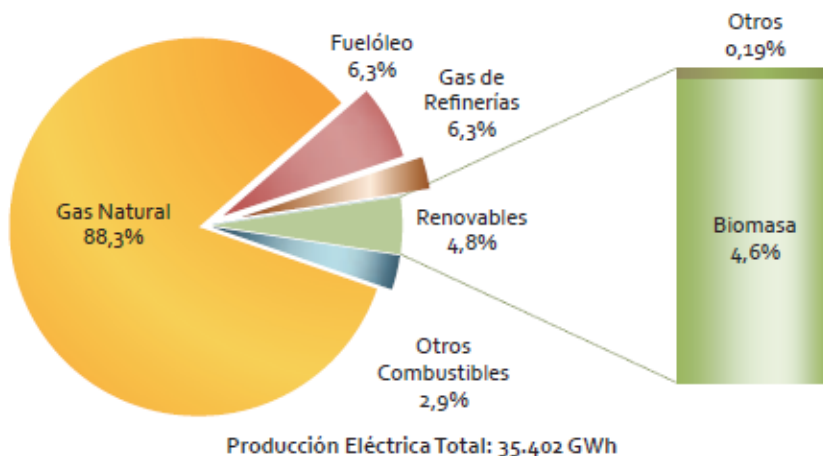


Figura 25. Evolució de la potència instal·lada en cogeneració segons tecnologies 2000-2011 (font [17])

Si s'analitza la producció elèctrica generada per les instal·lacions de cogeneració (figura 26), cal dir que ha augmentat un 2,3% respecte l'any anterior. L'increment és degut a una pujada del 1,9% de la producció de gas natural, amb un 83,3% del total. També destaquen altres combustibles com els fuel·loils o les energies renovables i dins d'aquestes, la biomassa (4,6%), que conjuntament cobreixen un 11,1% de la producció elèctrica total.



FUENTE: MINETUR/IDAE.

Figura 26. Distribució de la producció elèctrica en cogeneració segons combustibles (font [17])

#### 1.5.1.7. Energies renovables

L'any 2013, degut al bon any hidràulic i eòlic registrat, va fer que el consum primari de les energies renovables augmentés un 7,5% arribant a un valor de 17212 Ktep. A aquest valor també van contribuir les tecnologies solars, especialment la termoelèctrica i en menor mesura, la geotèrmia. Pel que fa al grup de la biomassa, biogàs i biocarburants van reduir la seva aportació respecte anys anteriors, degut principalment a la caiguda de la demanda de biocarburants.

En resum, la contribució renovable a la demanda d'energia primària arriba al 14,2% (figura 27). L'energia eòlica, hidràulica i la biomassa cobreixen el 75% de tota l'aportació renovable. També cal destacar la tecnologia solar, augmentant els darrers anys, fins a situar-se al 11,1% de les renovables.

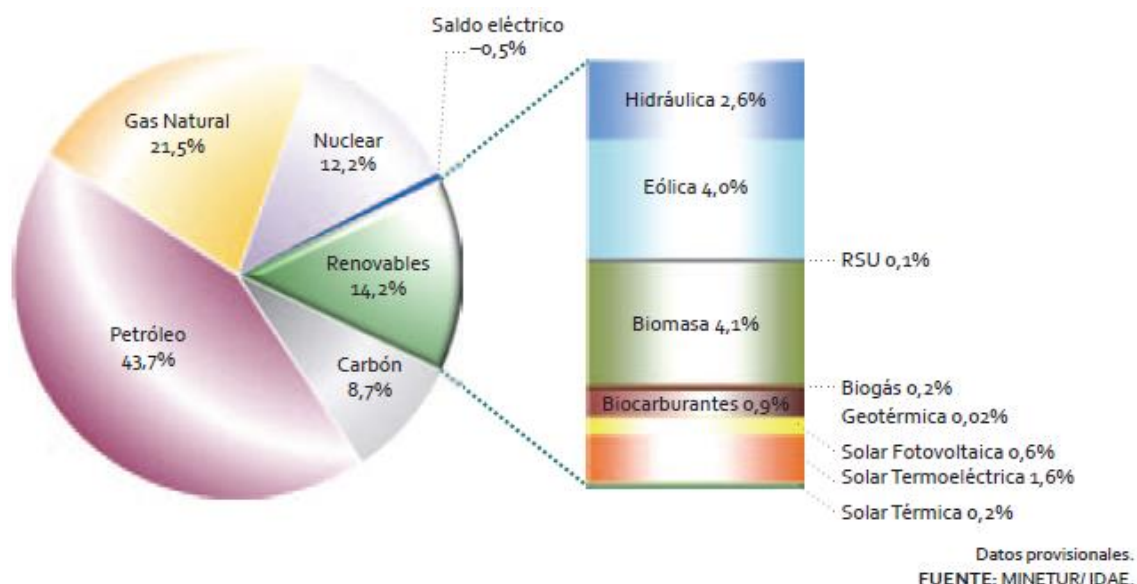


Figura 27. Distribució del consum d'energia primària 2013 (font [17])

En termes de producció bruta d'electricitat amb recursos renovables el 2013, va ser de 110949 GWh, suposant un increment del 28% respecte el 2012. Aquest fort increment és degut bàsicament als recursos hidràulics, eòlics i solars termoelèctrics. La producció elèctrica amb recursos hidràulics va augmentar un 79%, la eòlica un 13% i la termoelèctrica un 29%.

La meitat de la producció elèctrica bruta amb renovables va ser subministrada per l'energia eòlica, sent la 3a tecnologia de generació elèctrica el 2013, quasi a la mateixa altura que el gas natural i la nuclear. La biomassa va créixer un 11% respecte l'any anterior, situant-se amb un 3,4% de la producció de les renovables (figura 28).

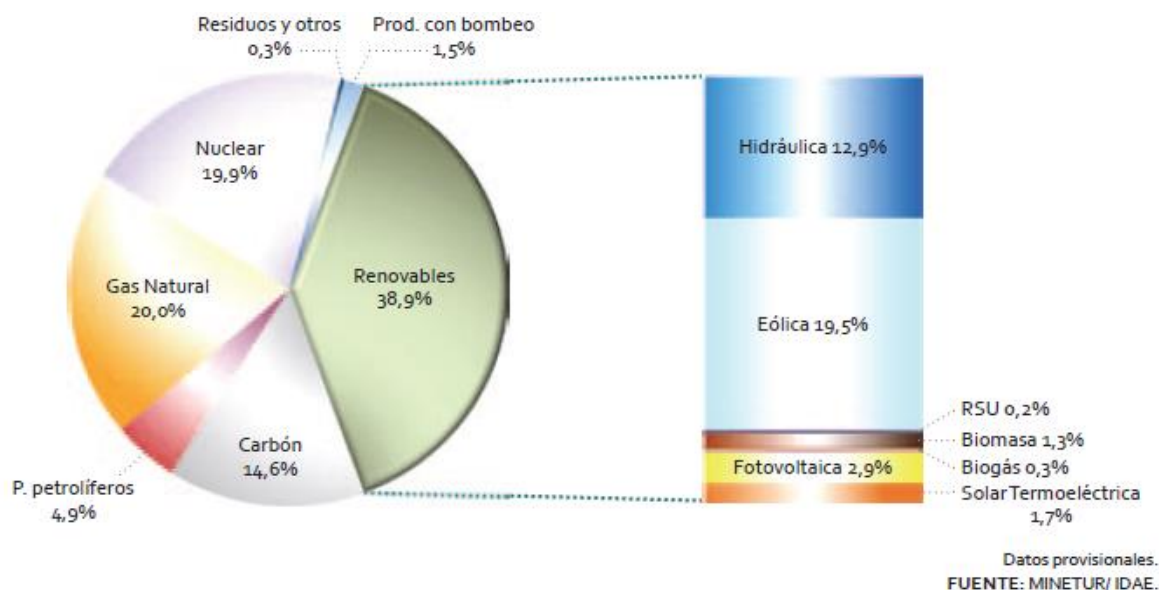


Figura 28. Estructura de generació elèctrica (font [17])

#### 1.5.1.8. El cas de la biomassa

Aquesta tecnologia presenta dos facetes d'utilització: la part elèctrica i la part tèrmica.

Respecte a la primera (figura 29), el sector està desenvolupant instal·lacions d'alta potència i rendiment fent un gran esforç tecnològic i econòmic. Els reptes del sector passen per desenvolupar un teixit industrial amb projecció i experiència internacional que asseguri la viabilitat del producte.

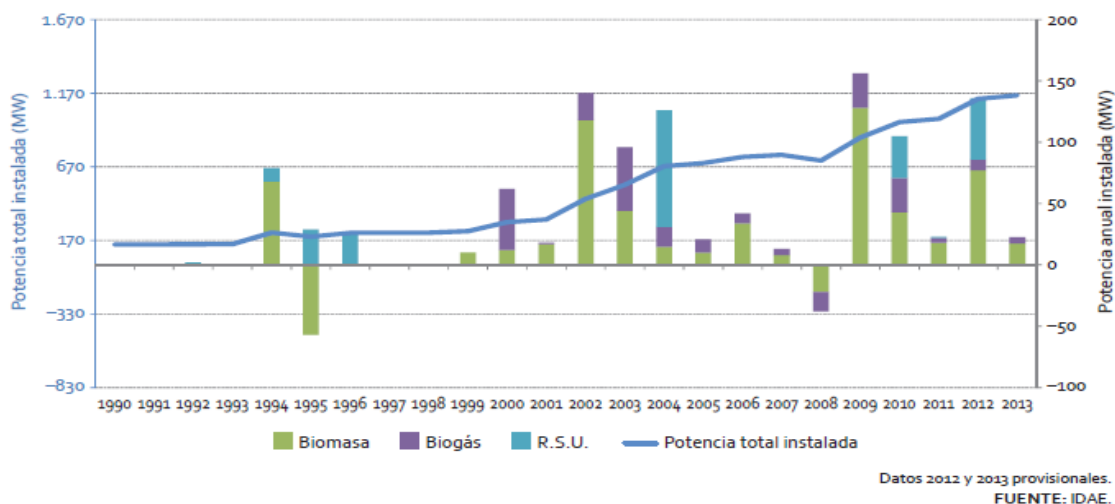


Figura 29. Evolució de la potència elèctrica instal·lada amb biomassa, biogàs i residus (font [17])

Respecte als usos tèrmics (figura 30), que inclou la utilització dels calors útils de les instal·lacions de cogeneració amb biomassa o biogàs, s'observa una evolució positiva des del 2010.

De cara al futur, el sector afronta els reptes d'incrementar el teixit industrial de fabricació de calderes i equips per edificis i en desenvolupar un mercat de biomassa tèrmica en aplicacions industrials.

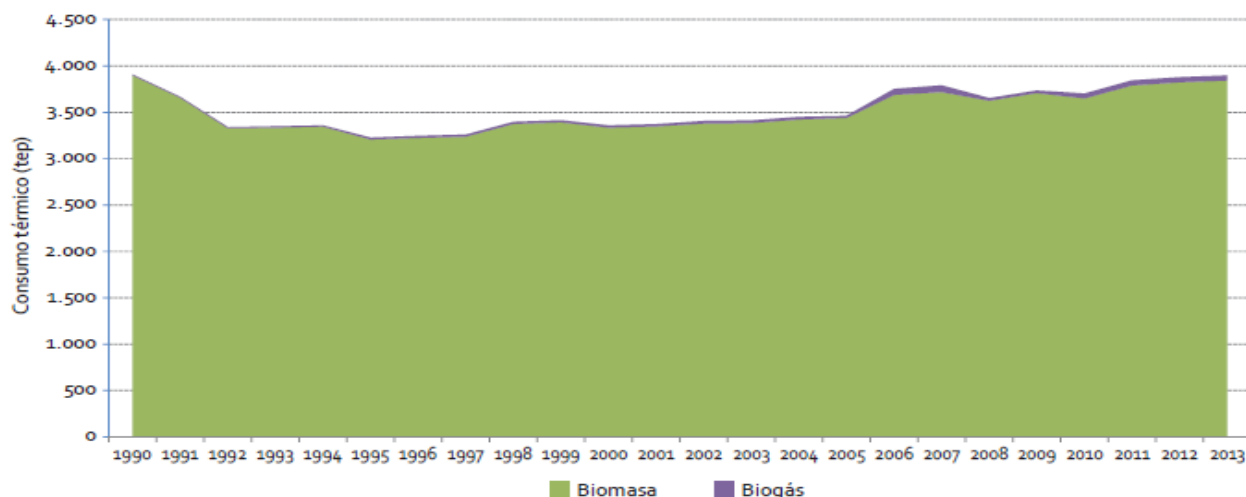


Figura 30. Evolució del consum de biomassa i biogàs tèrmics (font [17])

### 1.5.2. Pla de l'Energia 2012-2020

En aquest apartat es vol donar una petita pinzellada respecte l'enfocament que s'ha donat per part de les institucions catalanes a aquest canvi en la cultura energètica.

El principal objectiu és assolir una economia i una societat de baixa intensitat energètica i baixa emissió de carboni, innovadora, competitiva i sostenible a mitjà i llarg termini.

Les polítiques d'estalvi i eficiència energètica reduiran un 20,2% el consum d'energia a Catalunya l'any 2020, aconseguint l'objectiu fixat per la UE. El Pla preveu aconseguir un estalvi de 3427,3 Ktep i una millora de la intensitat energètica final del 1,87% anual.

Les energies renovables suposaran un 20,1% del consum d'energia primària i un 14,5% d'energia final en el sector del transport. El desenvolupament es preveu que es centri en l'energia eòlica (terrestre i marina), biomassa i l'energia solar.

També hi ha compromisos pel que fa a la reducció d'emissions de gasos efecte hivernacle (GEH) pel 2020 que es quantifiquen amb un 25,3%.



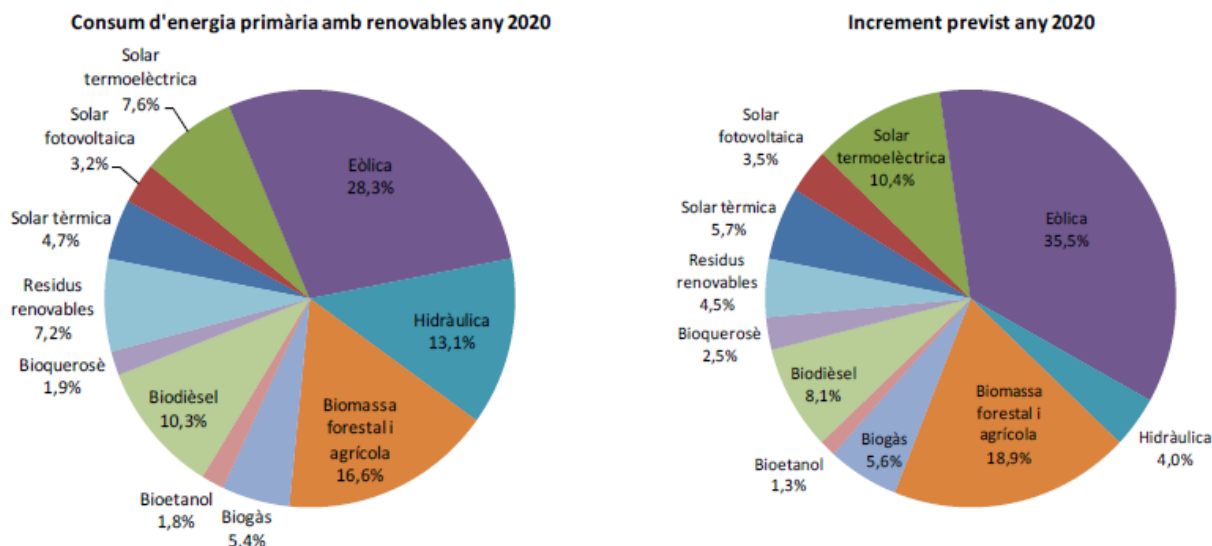


Figura 31. Comparativa del consum d'energia primària amb renovables l'any 2020 i increment de cada energia l'any 2020 (font [17])

Principals àmbits d'actuació:

- Implantació d'un sector empresarial en l'àmbit energètic
- Sostenibilitat energètica en els edificis
- Implantació del vehicle elèctric
- Energia eòlica
- Biomassa forestal i agrícola
- Infraestructures energètiques
- Acció voluntària de les organitzacions

Amb la redacció d'aquest Pla, s'estima el següent impacte socioeconòmic:

- Inversions associades: El Pla generarà inversions per valor de 24600 milions d'euros. L'aportació pública ascendirà a 1790 M€, dels quals 1130 aniran a càrrec de la Generalitat de Catalunya.
- Generació de llocs de treball: Aquestes polítiques energètiques implicaran la creació de 70000 llocs de treball en l'horitzó del 2020 (38000 en l'àmbit de l'estalvi i eficiència energètica i 32000 en el de les renovables).
- Estalvis induïts: El Pla permetrà estalviar 33850 M€ per als consumidors finals, i 20410 M€ en la importació de combustibles fòssils, en el període 2012-2020.
- Ingressos derivats de la subhasta de drets d'emissió: Del volum total d'ingressos previstos per l'Estat Espanyol, es considera que a Catalunya li correspon gestionar al voltant de 150 M€ anuals per accions de mitigació i adaptació al canvi climàtic.

### 1.5.3. Marc legal referent a la cogeneració

#### 1.5.3.1. Marc Europeu

A nivell Europeu, la **Directiva 2004/8/CE**, del 11 de febrer de 2004, relativa al foment de la cogeneració sobre la base de la demanda de calor útil al mercat interior d'energia, proposava el següent:

#### Promoció de la cogeneració

L'objectiu de la Directiva era establir un marc comú transparent per fomentar i facilitar la instal·lació de centrals de cogeneració. Aquest objectiu general es componia de dos aspectes específics:

- A curt termini, la Directiva hauria de consolidar les instal·lacions de cogeneració existents i fomentar noves centrals
- A mitjà i llarg termini, la Directiva hauria de crear el marc necessari perquè la cogeneració d'alt rendiment redueixi les emissions de CO<sub>2</sub> i d'altres substàncies i contribueixi al desenvolupament sostenible.

Actualment ja hi ha exemples de desenvolupament reglamentari en alguns Estats membres, com a Bèlgica (certificats verds i quotes de cogeneració), Espanya (Decret sobre la venda de l'electricitat de cogeneració) i Alemanya (Llei sobre la cogeneració).

La Comissió va establir valors de referència de l'eficiència per a la producció per separat d'electricitat i calor per a cada Estat membre, obligant a aquests a garantir que l'origen de la electricitat produïda a partir de la cogeneració d'alta eficiència es podés identificar segons criteris objectius, transparents i no discriminatoris.

#### Context

La cogeneració estalvia energia i millora la seguretat de l'abastament. No obstant això, als Estats membres encara no s'ha explorat tot el potencial de cogeneració, que aquesta permetria:

- Disminuir les pèrdues de la xarxa elèctrica, ja que les centrals de cogeneració solen situar-se més a prop del lloc de consum
- Augmentar la competència entre els productors
- Crear noves empreses
- Estalviar energia en les zones aïllades o ultraperifèriques.



### 1.5.3.2. Marc Estatal

La situació actual al mercat de la cogeneració elèctrica diferencia a dos tipus de productors: aquells centres productors d'energia elèctrica (empreses elèctriques) i aquells centres d'autoproducció que utilitzen com a energia primària, fonts d'energia renovables, cogeneració o residus. El primer grup està regulat per un règim ordinari i el segon per un règim especial.

La llei d'aquest règim especial a nivell nacional s'inicia amb la **Ley 82/1980 de Conservación de la Energía**, on s'estableixen les normes i principis bàsics per optimitzar els processos de generació d'energia i potencia l'autogeneració d'energia.

Més endavant, al març de l'any 1982 es publica el **Real Decreto 872/1982** on es regula la tramitació d'expedients de sol·licitud de beneficis creats per la llei anterior. També es publica el **Real Decreto 907/1982** que estableix una sèrie de mesures per fomentar l'autogeneració elèctrica amb l'objectiu d'estalviar energia. El mateix any es publica la **Orden Ministerial del 7 de julio de 1982**, que regula l'obtenció dels autogeneradors elèctrics i les empreses elèctriques.

L'autoproducció elèctrica basada en instal·lacions de cogeneració va tenir un gran increment a partir del 1987, degut en primer lloc a la caiguda del preu de petroli, que va fer que augmentés la diferència de preus entre combustibles i energia elèctrica i en segon lloc a l'increment de disponibilitat de gas natural canalitzat.

Als anys 90, el Ministeri d'Indústria i Energia va elaborar un **Plan Energético Nacional 1991-2000** que estava format per una sèrie d'objectius per atendre la nova situació energètica:

- Minimització dels costos
- Diversificació de fonts
- Potenciació dels recursos autòctons
- Protecció mediambiental

A més a més, aquest Pla contemplava dos programes recollits en dos annexos: **Plan de Ahorro y Eficiencia Energética (PAEE)** i el **Plan General de Residuos Radioactivos**.

El primer es pot definir com el conjunt de mesures per aconseguir una utilització més racional de l'energia, bé amb actuacions sobre la demanda que assegurin un menor consum d'energia pels mateixos nivells d'activitat econòmica i benestar dels ciutadans, la eficiència i la conservació del medi ambient.

Per primera vegada a Espanya es va considerar la cogeneració i les energies renovables com una aportació significativa en la producció d'energia elèctrica, que es va marcar com a objectiu passar d'una aportació del 4,5% l'any 1990 al 10% l'any 2000. Dins d'aquest context, la **Ley 40/94** del sistema elèctric nacional (LOSEN) va deixar consolidat el concepte de règim especial.

Basats amb els principis de la LOSEN, el 9 de desembre es va publicar el **RD 2366/1994**, sobre la producció elèctrica per instal·lacions hidràuliques, de cogeneració i altres amb funcionament a partir de recursos renovables. Aquestes instal·lacions podien cedir l'energia excedentària a l'empresa distribuïdora més propera sempre que fos tècnicament viable. El preu de venda d'aquesta energia es fixava en funció de les tarifes elèctriques, depenent de la potència instal·lada i del tipus d'instal·lació.

El **RD 2818/1998** sobre la producció d'energia elèctrica per instal·lacions alimentades amb recursos o fonts d'energia renovables, residus i cogeneració, establia que les primes elèctriques havien de ser actualitzades anualment en funció d'una sèrie de paràmetres i revisades cada quatre anys.

El 30 de desembre de l'any 1999 es va aprovar el **Plan de Fomento de Energías Renovables (PFER)**, establint els objectius de creixement necessaris en cada tecnologia considerada com a renovable, per aconseguir que la producció d'energia representés un 12% del consum espanyol d'energia primària l'any 2010.

El 23 de juny del 2006, s'aprova el **Real Decreto-Ley 7/2006**, per al que s'adopten mesures urgents en el sector energètic, on s'eliminava la necessitat d'autoconsum elèctric de les plantes que utilitzaven cogeneració, donant prima no només als excedents elèctrics, sinó a tota l'electricitat cogenerada. S'establia la possibilitat de que totes aquestes plantes fossin retribuïdes amb el complement d'una prima per damunt del preu del mercat durant 10 anys des de la seva posada en funcionament.

El maig de 2007 es va aprovar el **RD 616/2007**, on es regulava l'activitat de producció d'energia elèctrica en règim especial. El RD també creava una prima per les instal·lacions de potència superior a 50MW que utilitzessin energies renovables (excepte la hidràulica), cogeneracions i instal·lacions de combustió de biomassa o biogàs.

El 27 de gener de 2012, es dicta el **Decreto-Ley 1/2012**, on es procedeix a la suspensió dels procediments de retribució i a la suspensió dels incentius econòmics per noves instal·lacions de producció d'energia elèctrica a partir de cogeneració, fonts d'energia renovables i residus.

Al 2013, es dicta finalment el **Real Decreto-Ley 2/2013**, modificant el RD 661/2007, on s'aproven una sèrie de mesures urgents en el sistema elèctric per les quals s'eliminen totes les primes de referència a tots els subgrups.

El 6 de juny de l'any 2014, s'aprova el **RD 413/2014**, en el que es regula el règim jurídic i econòmic de les activitats de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus.

#### 1.5.3.3. Marc Autonòmic

A nivell de Catalunya, inicialment es defineix una política energètica basada en el foment de la cogeneració i el desenvolupament i implantació d'energies renovables, per reduir la dependència energètica i contribuir en la protecció del medi ambient. D'aquesta manera, el Departament d'Indústria i Energia publica el **Llibre Blanc de l'Energia**, en el que es reconeix el valor de la eficiència energètica i de les fonts d'energia renovables per assumir els objectius d'un desenvolupament sostenible.

Posteriorment es crea el **Pla de l'Energia de Catalunya 2006-2015**, que es basa en quatre àmbits:

- Foment de l'estalvi i l'eficiència energètica
- Promoció de les fonts d'energia renovables
- Desenvolupament d'infraestructures energètiques necessàries
- Pla de suport a la investigació, desenvolupament i innovació tecnològica en l'àmbit energètic.

L'any 2012 es crea el **Pla de l'Energia de Catalunya 2012-2020**, ajustant les polítiques energètiques a l'objectiu fixat per la UE, preveient un estalvi de 3427,3 Ktep en els sectors consumidors d'energia final l'any 2020 i una millora de la intensitat energètica final de 1,87% anual.

#### 1.5.4. Normativa calefacció i ACS

- **RITE 2007:** Reglamento De Instalaciones Térmicas En Los Edificios (20 julio 2007)
- **ITC-MIE-AP01:** Reglamento de aparatos a presión referente a calderas, economizadores, sobrecalentadores y recalentadores.
- **ITC-MIE-AP02:** Reglamento de aparatos a presión referente a fluidos relativos a calderas.
- **ITC-MIE-AP11:** Reglamento de aparatos a presión referente a aparatos para calentar o acumular ACS.
- **ITC-MIE-AP12:** Reglamento de aparatos a presión referente a caldera
- **ITC-MIE-AP13:** Reglamento de aparatos a presión referente a intercambiadores de calor.

### 1.5.5. Normativa aire acondicionat

- **REGLAMENTO (CE) No 842/2006** del Parlamento Europeo y del Consejo de 17 de mayo de 2006: Reglamento sobre gases fluoruros de efecto invernadero.
- **Real Decreto 865/2003**: Normativa sobre prevención de la legionelosis.
- **Reglamento de Seguridad para plantas e instalaciones frigoríficas (RSF)**
- **ITC-MIE-AP9**: Normativa sobre recipientes frigoríficos.
- **NBE CT-79**: Normativa básica de la edificación. Condiciones térmicas de los edificios.

### 1.5.6. Normativa refrigeració per absorció

El 4 de febrer de 2011 s'aprova el **RD 138/2011**, què estableix un **Reglament de Seguretat per Instal·lacions Frigorífiques i les seves instruccions tècniques complementàries**.

Aquest reglament només afecta a les instal·lacions d'absorció i sistemes de refrigeració no compactes amb càrrega inferior a 2,5kg de refrigerant. Per tant, s'exclouen les instal·lacions frigorífiques corresponents a mitjans de transport (terrestre, marítims o aeris), els sistemes secundaris de climatització pel benestar tèrmic de les persones en edificis (està regit per RITE) i també els sistemes de refrigeració compactes amb càrregues inferiors a 2,5kg de refrigerant (neveres i congeladors domèstics, etc.).

Les instal·lacions per absorció amb BrLi-Aigua, han de complir, com a mínim els següents requisits:

- Han de ser instal·lats, mantinguts o reparats per l'empresa instal·ladora frigorista.
- Han de satisfer les exigències escrites en la reglamentació vigent relativa a equips de pressió en quant a disseny, fabricació, protecció i documentació que han d'acompanyar aquests.

Pel que fa a la potència instal·lada en equips d'absorció, es computarà com la potència tèrmica d'accionament del generador de l'equip.

#### Instal·lacions especials

Les màquines d'absorció per NH<sub>3</sub>-Aigua es classifiquen com especials perquè utilitzen refrigerant del grup L2. En aquests equips s'han de seguir totes les preinscripcions del Reglament.

Degut a l'alta capacitat de l'aigua per absorbir els vapors de l'amoníac, en cada sala de màquines específica s'ha de preveure una entrada de subministrament d'aigua per a què, d'acord amb les

circumstàncies, sigui possible la utilització d'aquesta sobre la zona afectada, recomanablement polvoritzada.

En sistemes d'absorció amb un consum d'energia tèrmica de fins a 5kW es requereix un dispositiu limitador de temperatura i pressió. En sistemes d'absorció de més de 5kW és suficient amb la instal·lació d'un pressòstat de seguretat i un limitador de pressió o de temperatura (pressòstat o termòstat, respectivament) connectat elèctricament en sèrie amb el primer.

Tots els sistemes en què el generador de pressió pugui produir pressions superiors a la màxima admissible, han d'estar coberts al menys, amb un dispositiu de seguretat limitador de pressió o temperatura.

## 2. Dades de l'edifici de l'estudi

### 2.1. Dades descriptives de l'edifici

L'edificació sobre la qual es realitza aquest projecte correspon a un hospital de 5 pisos (figura 32) què ofereix els serveis assistencials en les diferents àrees d'hospitalització, hospital de dia, cirurgia ambulatoria, quiròfans, sala de parts, consultes externes, radiodiagnòstics, laboratoris i farmàcia.

L'horari de funcionament és les 24h del dia durant tot l'any (8760h anuals) per l'hospitalització i urgències, mentre que per a consultes externes i proves complementàries és de dilluns a divendres amb 12h diàries.

La superfície total de l'edifici hospitalari és de 22428 m<sup>2</sup> i es suposa que l'àrea climatitzada és la mateixa.

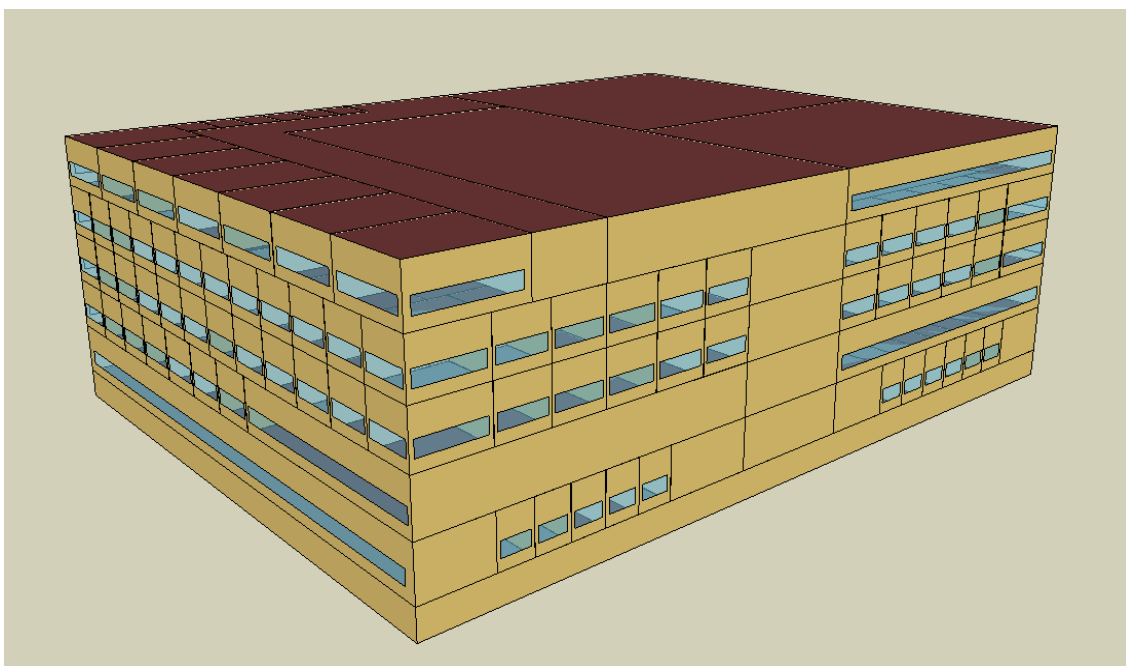


Figura 32. Exterior de l'hospital simulat (font: Energy Plus)

El percentatge de finestres en els murs verticals exteriors és:

- Nord: 12%
- Est: 13%
- Sud: 15%
- Oest: 24%
- Mitjana total: 16%

El material de construcció dels murs exteriors és formigó armat de 20,32cm i 1,27cm d'aïllament. Les parets interiors són de fusta amb un gruix de 15,24cm sense aïllament.

El percentatge d'àrea total de cada tipus de sala és:

- Clíniques: 25%
- Zona pública: 35%
- Habitacions pacients i oficines: 15%
- Cuina: 5%
- Vestíbul i passadissos: 20%

Respecte als sistemes actuals que proporcionen HVAC (calor, ventilació i aire condicionat) hi ha una caldera de gas ( $T_{H2O}=82^{\circ}\text{C}$ ) per proporcionar la calor i 2 refredadors centrífugs ( $T_{H2O}=6,5^{\circ}\text{C}$ ) per l'aire condicionat. Les temperatures d'activació dels equips són:  $21^{\circ}\text{C}$  per la caldera de gas i  $24^{\circ}\text{C}$  pels refredadors.

La distribució de les 5 plantes de l'edifici es mostra a l'apartat de plànols, amb la superfície per planta que mostra la taula 5:

ZONA	SUPERFÍCIE (m <sup>2</sup> )
PLANTA BAIXA	
Espai d'oficines	3738
PRIMER PIS	
Àrees de procediment mèdic	390
Oficines	70
Sales d'urgències	1474
Passadissos	569
Àrees de recepció	1235
SEGON PIS	
Quiròfans	613
Sales de recuperació	875
Àrees de recepció	1681
Passadissos	569
TERCER PIS	
Habitacions pacients	947
Àrea fisioteràpia	488
Laboratoris	265
Vestíbul d'infermeria	905
Passadissos	1133
QUART PIS	
Habitacions pacients	947
Àrees de procediment mèdic	488
Vestíbul d'infermeria	905
Laboratoris	265
Passadissos	1133
CINQUÈ PIS	
Cafeteria	697
Àrees de recepció	1040
Cuina	929
Oficines	571
Passadissos	501
<b>TOTAL</b>	<b>22428 m<sup>2</sup></b>

Taula 5. Superfície de cada àrea de l'hospital

## 2.2. Ubicació

- **Localitat:** Lleida
- **Comarca:** Segrià
- **Província:** Lleida
- **Altura sobre el nivell del mar:** 263m
- **Latitud:** 41,63°
- **Longitud:** 0,63°
- **Població ciutat:** 139176 habitants (any 2014)
- **Activitat:** Hospital
- **Número de llits:** 250

## 2.3. Climatologia

DEFINICIÓ	VALOR
CIUTAT	Lleida (Spain)
LATITUD	N 41° 37'
LONGITUD	E 0° 36'
ZONA HORÀRIA	GMT+1h
ALTURA (M)	263
PRESSIÓ ESTÀNDARD (PA)	98205
TEMPERATURA MÀXIMA DE BULB SEC	36,1°
DIA DE TEMPERATURA MÀXIMA DE BULB SEC	19 juliol
TEMPERATURA MÍNIMA DE BULB SEC	-0,6°C
DIA DE TEMPERATURA MÍNIMA DE BULB SEC	8 gener
TEMPERATURA MÀXIMA PUNT DE ROSADA	15,8°
DIA DE TEMPERATURA MÀXIMA PUNT DE ROSADA	13 agost
TEMPERATURA MÍNIMA PUNT DE ROSADA	-3,4°C
DIA DE TEMPERATURA MÍNIMA PUNT DE ROSADA	29 gener
GRAU-DIA CALEFACCIÓ (BASE 10°C)	393
GRAU-DIA REFRIGERACIÓ (BASE 18°C)	593
VELOCITAT MITJA VENT (M/S)	2.55
HUMITAT RELATIVA MITJA (%)	14.6
TEMPERATURA MITJA SÒL	9,36°C
DESCRIPCIÓ CLIMA DE KÖPPEN	Humit subtropical (lleu sense estació seca, estiu calent, latitud 20-35°N)
RECOMANACIÓ DE KÖPPEN	Períodes secs amb calor insuportable a l'estiu, però la refrigeració passiva és possible

Taula 6. Dades meteorològiques segons Energy Plus



## DADES MENSUALS TEMPERATURA, HUMITAT RELATIVA, VENT I IRRADIACIÓ

MES DE L'ANY	TEMPERATURA MITJANA MENSUAL (°C)	TEMPERATURA MÀXIMA MITJANA MENSUAL (°C)	TEMPERATURA MÍNIMA MITJANA MENSUAL (°C)
Gener	43	10,3	-0,2
Febrer	60	12,4	0,1
Març	103	16,2	4,8
Abril	12,4	19,1	5,9
Maig	14,1	20,7	7,7
Juny	19,4	26,9	12,0
Juliol	24,4	32,7	16,8
Agost	22,5	30,2	15,8
Setembre	19,3	27,4	12,2
Octubre	16,2	23,7	10,0
Novembre	8,9	14,8	3,9
Desembre	2,7	7,1	-0,7
<b>ANY</b>	<b>134</b>	<b>20,2</b>	<b>7,4</b>

Taula 7. Dades mensuals de temperatures (Font: SMC)

MES DE L'ANY	PRECIPITACIÓ MENSUAL (mm)	VELOCITAT MITJANA DEL VENT MENSUAL (m/s)	HUMITAT RELATIVA MITJANA MENSUAL (%)	MITJANA MENSUAL D'IRRADIACIÓ SOLAR (MJ/m²)
Gener	39,7	1,5	80	9,1
Febrer	30,5	2,1	69	11,9
Març	73,1	1,9	69	15,8
Abril	85,5	1,5	64	19,9
Maig	30,6	1,6	65	24,8
Juny	42,0	1,3	61	28,0
Juliol	24,6	1,1	60	28,3
Agost	29,1	1,0	65	23,5
Setembre	11,5	1,0	66	20,3
Octubre	22,2	0,9	72	14,3
Novembre	77,2	1,5	70	9,6
Desembre	13,1	0,9	86	5,9
<b>ANY</b>	<b>479,1</b>	<b>1,3</b>	<b>69</b>	<b>17,6</b>

Taula 8. Dades mensuals de precipitació, velocitat del vent, humitat relativa i irradiació solar (Font: SMC)

Mirant per damunt les dades meteorològiques extretes del Servei Meteorològic de Catalunya (figures 7 i 8), es veu ràpidament que el clima de la zona de Lleida és molt sec i calorós en els mesos juliol, agost i setembre i molt fred als mesos d'hivern (desembre, gener i febrer).

La velocitat del vent és bastant constant durant tot l'any, donant-se les màximes velocitats al mes de febrer sense arribar als 10 km/h de mitjana.

Pel que fa a la humitat relativa, donat que a Lleida en els mesos d'hivern acostuma a haver-hi molts dies la boira, en els mesos de desembre i gener la humitat relativa mitjana és del 86% i del 80%, respectivament.

Finalment la irradiació mitjana mensual és més alta, lògicament, en els mesos d'estiu, amb valors superiors a 20 MJ/m² de mitjana mensual.

## 2.4. Càlcul de l'ocupació

Pel càlcul de la ocupació es fan servir uns criteris de densitat de persones per cada metre quadrat en cada espai o sala, definits a la normativa de càlcul d'ocupació en hospitals. Pel 22428 m<sup>2</sup> de superfície total de l'edifici, s'obté una ocupació de 766 persones (taula 9).

ZONA	SUPERFÍCIE (m <sup>2</sup> )	Densitat d'ocupació (m <sup>2</sup> /persona)	Total persones a cada espai
<b>PLANTA BAIXA</b>			
Espai d'oficines	3738	37	101
<b>PRIMER PIS</b>			
Àrees de procediment mèdic	390	5	84
Oficines	70	13	5
Sales d'urgències	1474	70	21
Passadissos	569	93	6
Àrees de recepció	1235	70	18
<b>SEGON PIS</b>			
Quiròfans	613	19	33
Sales de recuperació i vigilància intensiva	875	19	47
Àrees de recepció	1681	70	25
Passadissos	569	93	6
<b>TERCER PIS</b>			
Habitacions pacients	947	19	51
Àrea fisioteràpia	488	19	26
Laboratoris	265	19	14
Vestíbul d'infermeria	905	70	13
Passadissos	1133	93	12
<b>QUART PIS</b>			
Habitacions pacients	947	19	51
Àrees de procediment mèdic	488	19	26
Vestíbul d'infermeria	905	70	13
Laboratoris	265	19	14
Passadissos	1133	93	12
<b>CINQUÈ PIS</b>			
Cafeteria	697	9	75
Àrees de recepció	1040	70	15
Cuina	929	19	50
Oficines	571	13	43
Passadissos	501	93	5
<b>TOTAL</b>	<b>22428 m<sup>2</sup></b>	<b>-</b>	<b>766 persones</b>

Taula 9. Ocupació de les àrees de l'hospital

## 2.5. Descripció dels sistemes de l'edifici

En aquest apartat es detallaran els sistemes actuals de climatització, ACS, il·luminació i altres equips que componen l'hospital.

### 2.5.1. Climatització

#### CALEFACCIÓ

La calefacció de l'hospital es proporciona a partir de l'escalfament d'aigua. Això ho aconsegueix una caldera de gas natural (Fig. 33) d'una determinada potència nominal i una eficiència (Taula 10), escalfant l'aigua fins a 82,2°C.

Equip	Potència (kW)	Rendiment
Caldera de gas natural	1323,93	0,81

Taula 10. Característiques caldera gas natural.

La caldera no és res més que una capsa metàl·lica amb un mecanisme que proporciona calor mitjançant la combustió d'un combustible, en aquest cas gas natural. Mitjançant el pas d'aigua pel mecanisme, aquesta s'escalfa i es bombeja cap al sistema de calefacció o per proporcionar-nos aigua calenta domèstica.

Actualment les calderes més eficients es diuen de condensació, amb rendiments de fins al 110%. El vapor d'aigua dels gasos de combustió conté energia i aquesta energia, és recuperada i transformada amb energia addicional mitjançant la condensació. Depenent del tipus de caldera, poden arribar a estalviar fins un 30% de combustible.

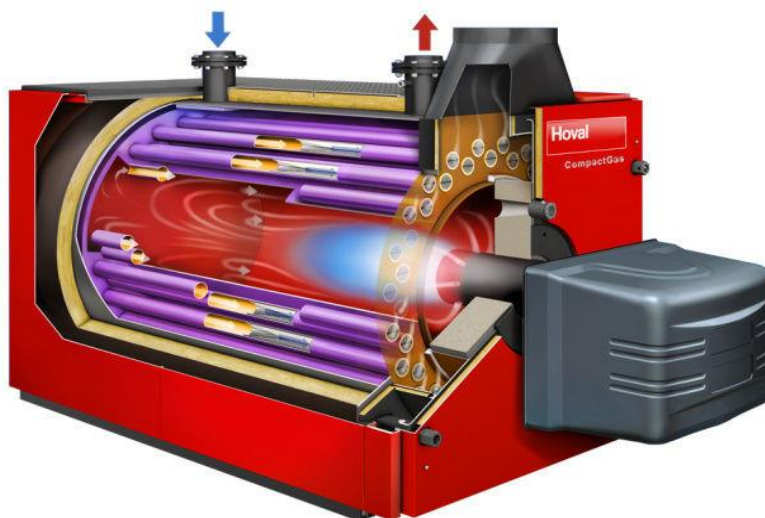


Figura 33. Caldera de gas natural (font: <http://www.hoval.it/>)

## REFRIGERACIÓ

El sistema de fred està basat en dos refredadors d'aigua centrífugs (Fig. 34) i dos torres de refrigeració (Fig. 35). Els primers estan formats bàsicament per compressors centrífugs de doble etapa, un condensador de tub-carcassa, un evaporador de carcassa-tub, un dispositiu d'estrangulament, un sistema de lubricació i un controlador PLC. Són ideals per ambients que requereixen una gran capacitat de refrigeració. També cal dir que tenen l'inconvenient de gastar una gran quantitat d'electricitat.

Les potències instal·lades per cada unitat en l'hospital estudiat són:

Equip	Potència (kW)	Rendiment (COP)
Refredador	649,28	4
Torre de refrigeració	595,67	-

Taula 11. Característiques refredadors i torres de refrigeració

Les temperatures de treball són de  $T_{IN}=12^{\circ}\text{C}$  i  $T_{OUT}=7^{\circ}\text{C}$  en refrigeració.



Figura 34. Refredador centrífug (font: <http://www.johnsoncontrols.com/>)



Figura 35. Torres de refrigeració (font [38])

### 2.5.2. Aigua calenta sanitària (ACS)

El sistema d'ACS es proporciona en major part per l'escalfament d'aigua a la camisa de la caldera de gas. De suport hi ha instal·lats tres escalfadors elèctrics (Fig. 36) amb diferents capacitats d'aigua, per alimentar els pics dels tres punts claus de demanda d'aigua calenta: dutxes i rentamans, rentadors de roba i aigua calenta per rentar els plats de la cuina.

Lògicament el servei amb més demanda d'ACS serà el de dutxes i rentamans, seguit del rentar roba i finalment el rentaplats.



Figura 36. Escalfador d'aigua (font: <http://www1.eere.energy.gov/>)

Les característiques dels escalfadors elèctrics són les mostrades a la Taula 12:

Equip	Potència (W)	Volum dipòsit (m <sup>3</sup> )	Efic. tèrmica
Dutxes i rentamans	175842,64	2,27	0,8
Rentador de roba	87921,32	1,14	0,8
Rentaplats	3000	0,02	1

Taula 12. Característiques escalfadors ACS

### 2.5.3. Il·luminació

Pel que fa a il·luminació, l'hospital disposa d'enllumenat interior i exterior, amb un ús final d'energia elèctrica de 3512,22 GJ per l'interior i 202,5 GJ per l'exterior.

La mitja de potència instal·lada a l'hospital en enllumenat interior per metre quadrat és de 10,43 W/m<sup>2</sup>. Per tant la potència total instal·lada és de 233897,176 W en il·luminació interior.

#### 2.5.4. Altres equipaments

A més de tots els equips de calefacció, refrigeració, ACS i il·luminació també n'hi ha d'altres que no consumeixen tanta potència, però que són vitals per a què tot funcioni correctament.

##### BOMBES

Les bombes, en enginyeria i hidrodinàmica, són aparells utilitzats per a moure fluids, ja sigui gasos o líquids. Generalment, és una màquina hidràulica que transforma l'energia elèctrica amb energia mecànica o hidràulica, que mou un fluid incompressible.

A l'augmentar l'energia del fluid, s'augmenta la seva pressió i velocitat segons el principi de Bernoulli. En general, una bomba s'utilitza per incrementar la pressió d'un líquid afegint energia al sistema hidràulic, per moure el fluid d'una zona a menor pressió o altura a una de major pressió o altura.

En el cas de l'hospital es necessiten un total de sis bombes per moure tots els fluids dels diferents equips. La meitat són de velocitat variable i les restants de velocitat constant.

Les de velocitat variable (Fig. 37) poden treballar en qualsevol punt de treball de les corbes de funcionament, per tant s'adapten a qualsevol requeriment específic dins d'uns rangs determinats. En canvi les de velocitat constant (Fig. 38), es caracteritzen per entregar un producte fix a velocitat constant. Aquest tipus de bomba és molt comú a circuits industrials bàsics d'aplicació mecànica de la hidràulica (bombes d'engrenatges simples).

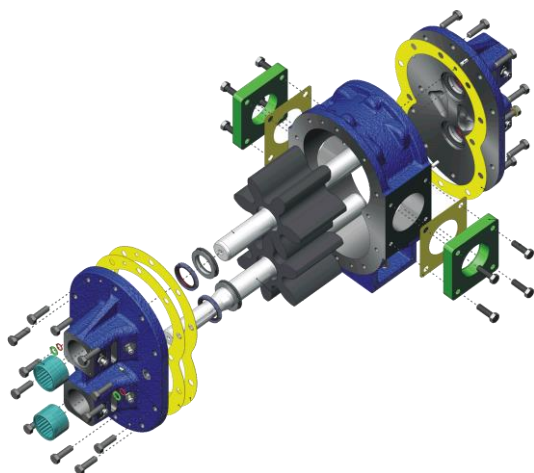


Figura 37. Bomba d'engrenatges de velocitat constant  
(font: [www.weirminerals.com](http://www.weirminerals.com))



Figura 38. Bomba de velocitat variable (font: [www.weirminerals.com](http://www.weirminerals.com))



Les dades tècniques de cada bomba instal·lada es faciliten a la taula 13 :

Equip	Tipus	Alçada (Pa)	Flux d'aigua (m³/s)	Pot. Elèc. (W)	Efic. motor
Bomba sistema de fred refrigerador 1	Velocitat constant	44761,28	0,0255	63762,5	0,9
Bomba sistema de fred refrigerador 2	Velocitat constant	44761,28	0,0255	63762,5	0,9
Bomba torre refrigeració	Velocitat variable	148556,62	0,0653	218916,33	0,87
Bomba sistema fred secundària	Velocitat variable	134283,83	0,0509	191287,51	0,9
Bomba sistema calor	Velocitat variable	179352	0,0319	255487,18	0,9
Bomba sistema ACS	Velocitat constant	29891	0,0002	127739,32	0,3

Taula 13. Dades tècniques bombes dels equips

## VENTILADORS

La ventilació en hospitals és una eina que permet mantenir unes condicions de treball segures i saludables reduint o els contaminants ambientals generats en el lloc de treball. En tots els centres sanitaris, la ventilació i l'acondicionament de l'aire han de complir una sèrie de requisits especials, considerant la susceptibilitat dels pacients.

En l'hospital estudiat es tenen les dades de la taula 14 per cada ventilador:

Equip	Tipus ventilador	Eficiència total	Pressió delta (Pa)	Flux màxim aire (m³/s)	Potència (W)
Extractor d'aire de la cuina	Extractor	0,16	124,5	3,40	2644,09
Ventilació general pisos 0,1,2	Volum variable	0,61	1389,42	13,13	29696,46
Ventilació habitacions emergències	Volum variable	0,6	1314,72	5,55	12069,26
Ventilació quiròfans	Volum variable	0,61	1314,72	10,90	23429,35
Ventilació vigilància intensiva	Volum variable	0,61	1389,42	6,30	14395,89
Ventilació habitacions pacients	Volum variable	0,61	1389,42	13,48	30496,98
Ventilació general pisos 3,4,5	Volum variable	0,62	1314,72	18,67	39587,77
Ventilació laboratoris	Volum variable	0,6	1314,72	2,40	5294,95
Ventilació cuina	Volum constant	0,61	1018,41	17,67	29288,22

Taula 14. Dades tècniques ventiladors

## ASCENSORS

Els ascensors (fig. 39) són les màquines que permeten als pacients o personal de l'hospital moure's entre plantes. Són vitals per moure pacients amb lliteres o cadira de rodes a les diferents plantes. El número d'ascensors en un hospital es determina pel número de llits (1 ascensor per cada 100 llits), un mínim de dos ascensors per les oficines i cafeteria de l'última planta i un mínim de dos ascensors per la planta d'assistència sanitària d'urgències.



Figura 39. Ascensor o elevador d'hospital (font: <http://www.jgascensores.com>)

Per tant en el cas del present hospital es disposa de 8 ascensors amb una potència de 18537 W cadascun.

Equip	Unitats	Potència unitària (W)	Potència total (kW)
Ascensor	8	18537	148,3

Taula 15. Dades tècniques ascensors





### 3. Balanç de consum energètic de l'edifici a estudiar

En aquest apartat s'analitzaran els diferents consums energètics en l'hospital simulat, tant els elèctrics com els de gas natural, per fer-nos així una idea dels equips de trigeneració que es dimensionaran.

#### 3.1. Balanç del consum elèctric mensual

##### 3.1.1. Calefacció

MES	ELECTRICITAT: CALEFACCIÓ (GJ)
Gener	95,0369
Febrer	67,1295
Març	49,8799
Abril	2,3824
Maig	0,1155
Juny	0,0000
Juliol	0,0000
Agost	0,0000
Setembre	0,0000
Octubre	0,0000
Novembre	9,2561
Desembre	71,8887
<b>VALOR ANUAL</b>	<b>295,69</b>

Taula 16. Consum elèctric mensual calefacció

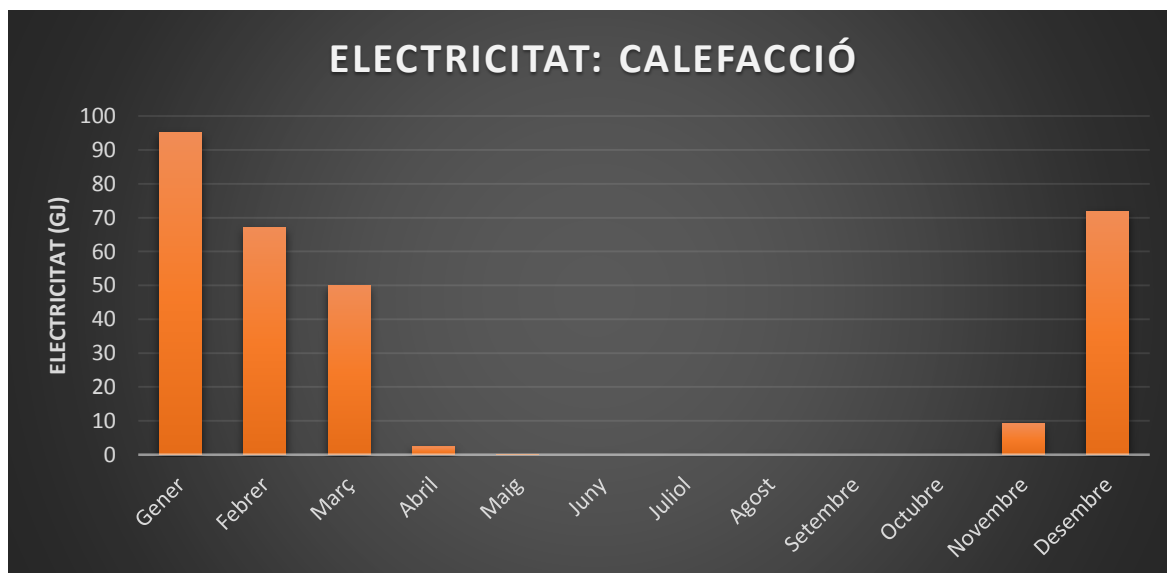


Figura 40. Consum elèctric mensual calefacció

La demanda d'electricitat per la calefacció lògicament està centrada en els mesos d'hivern, amb valors baixos de consum ja que la major part de calefacció la proporciona el sistema de gas. El consum anual és de 295 GJ (taula 16).

### 3.1.2. Refrigeració

MES	ELECTRICITAT: REFRIGERACIÓ (J)
Gener	70,1766
Febrer	70,6236
Març	93,8255
Abril	109,7120
Maig	150,3870
Juny	208,0420
Juliol	301,5000
Agost	305,8850
Setembre	234,6830
Octubre	138,6670
Novembre	77,2361
Desembre	69,1496
<b>VALOR ANUAL</b>	<b>1829,89</b>

Taula 17. Consum elèctric mensual refrigeració

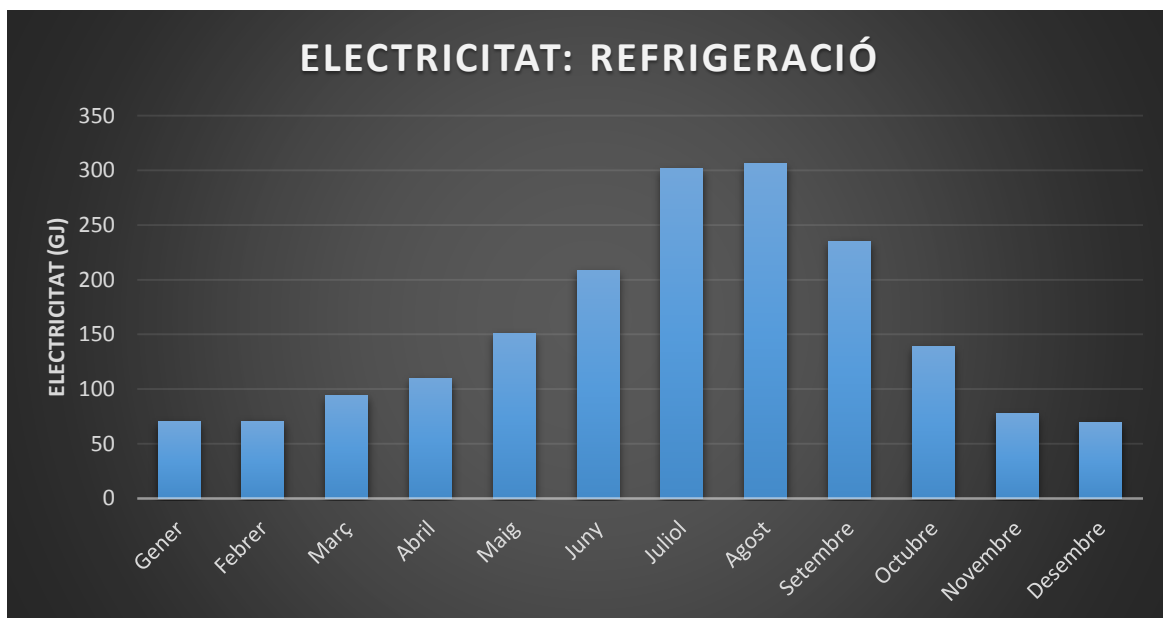


Figura 41. Consum elèctric mensual refrigeració

La demanda d'electricitat per refrigeració és regular durant l'hivern i relativament baixa i en els mesos d'estiu i arriba a pics de més de 300 GJ en els mesos de juliol i agost. En els mesos d'hivern es necessita fred pels sistemes d'esterilització, neveres per conserva de medicaments, etc. El consum anual és de 1830 GJ (taula 17).

### 3.1.3. Il·luminació interior i exterior

MES	ELECTRICITAT: IL·LUMINACIÓ INTERIOR (GJ)	ELECTRICITAT: IL·LUMINACIÓ EXTERIOR (GJ)
Gener	296,6800	21,3557
Febrer	268,4950	17,9162
Març	303,6180	17,9044
Abril	287,4740	15,3365
Maig	299,5100	14,1115
Juny	292,6730	12,6980
Juliol	294,0510	13,6285
Agost	303,2230	15,0420
Setembre	287,5230	16,4555
Octubre	296,3240	19,0234
Novembre	287,7260	20,2013
Desembre	294,9210	21,8269
<b>VALOR ANUAL</b>	<b>3512,22</b>	<b>205,50</b>

Taula 18. Consum elèctric mensual il·luminació

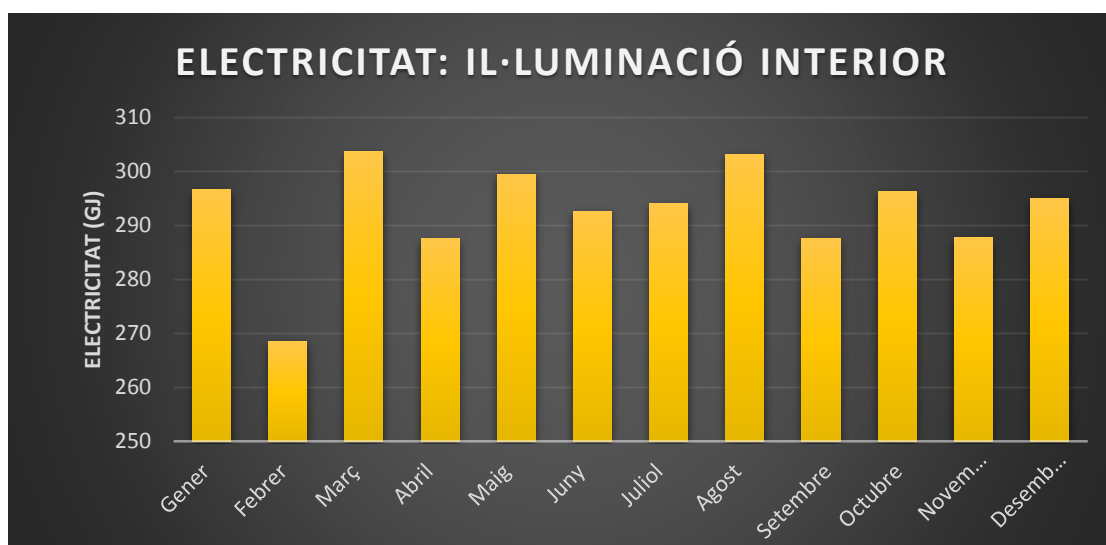


Figura 42. Consum elèctric mensual il·luminació interior

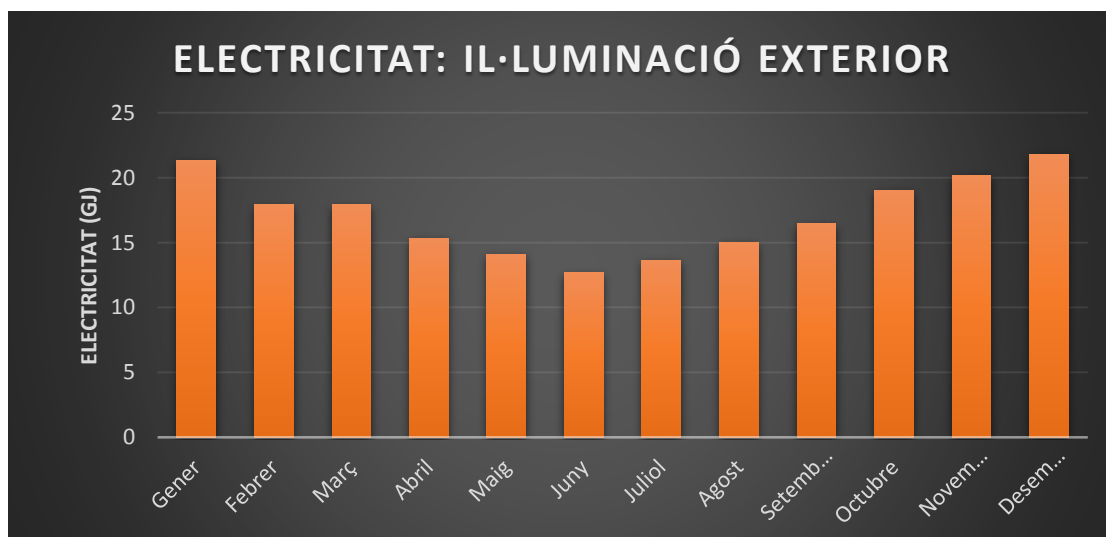


Figura 43. Consum elèctric mensual il·luminació exterior

Gran part del consum és en la il·luminació interior amb un consum anual de 3512 GJ i màxims en els mesos de març i agost. En la il·luminació exterior els màxims seran als dies de menys llum natural exterior (mesos d'hivern). El consum anual és de 205,5 GJ (taula 18).

### 3.1.4. Sistemes d'aigua

MES	ELECTRICITAT: SISTEMES D'AIGUA (GJ)
Gener	2,2036
Febrer	2,0039
Març	2,3832
Abril	2,1343
Maig	2,2928
Juny	2,2860
Juliol	2,1401
Agost	2,3824
Setembre	2,1342
Octubre	2,2029
Novembre	2,1691
Desembre	2,1414
<b>VALOR ANUAL</b>	<b>26,47</b>

Taula 19. Consum elèctric mensual sistemes d'aigua

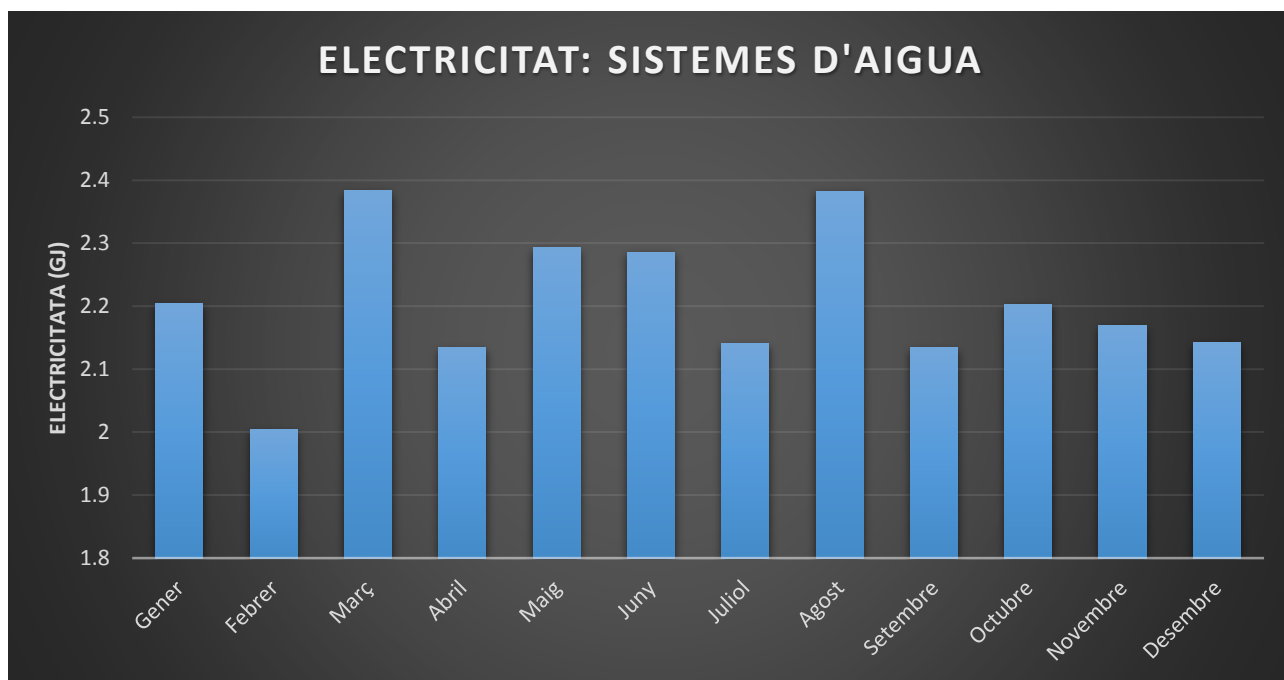


Figura 44. Consum elèctric mensual sistemes d'aigua

El consum elèctric en els sistemes d'aigua és bastant regular durant tot l'any, marcant màxims en els mesos de març i agost i un mínim el mes de febrer. Però l'escalfament d'aigua elèctricament només es fa servir de suport al sistema de gas.

La suma de tots els mesos resulta un total de 26.5 GJ (taula 19).

### 3.1.5. Ventilació

MES	ELECTRICITAT: VENTILACIÓ (GJ)
Gener	243,1920
Febrer	221,0800
Març	247,3990
Abril	236,8090
Maig	243,7370
Juny	237,3940
Juliol	244,9530
Agost	247,1710
Setembre	236,0820
Octubre	242,1210
Novembre	236,0650
Desembre	243,0740
<b>VALOR ANUAL</b>	<b>2879,08</b>

Taula 20. Consum elèctric mensual ventilació

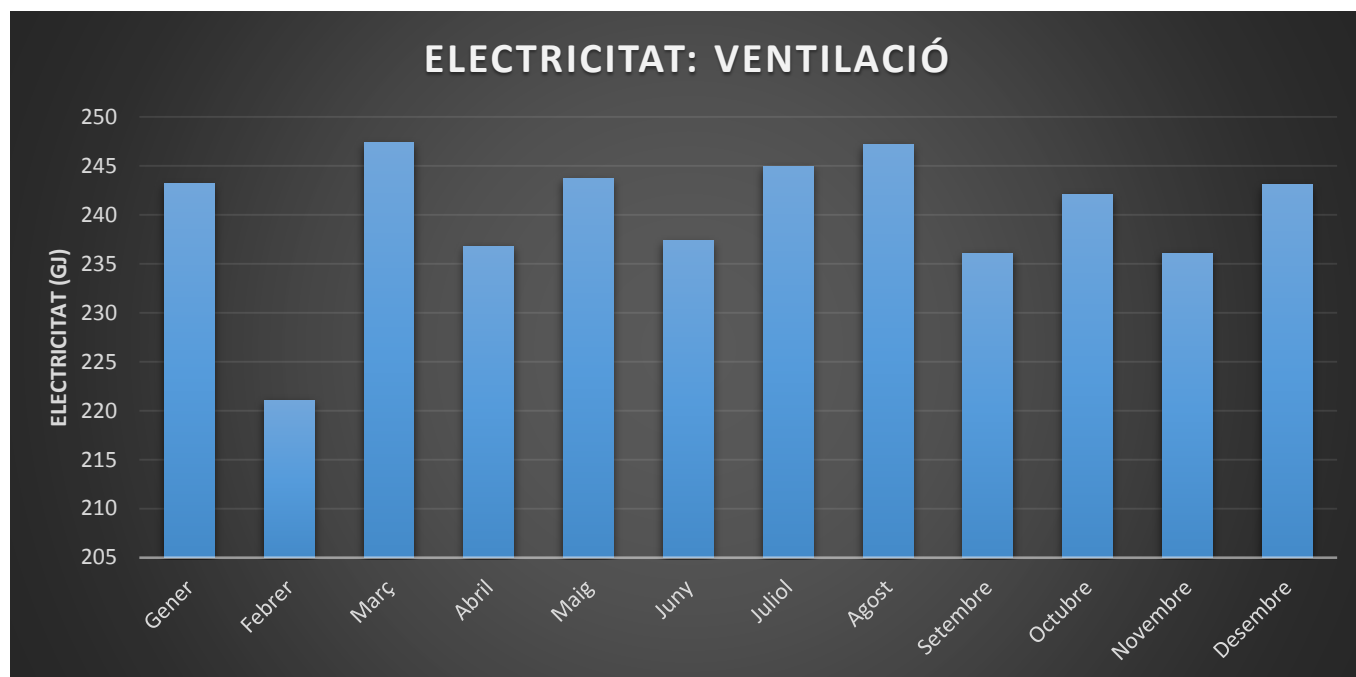


Figura 45. Consum elèctric mensual ventilació

La ventilació és un dels grans consumidors d'electricitat ja que és l'encarregat de moure tot el volum d'aire amb les condicions ideals de confort segons normativa, per tot l'hospital. Es tenen mesos amb consums superiors a 245 GJ, situant-se als mateixos nivells de consum de la refrigeració o la il·luminació.

El seu consum anual es situa a 2879 GJ (taula 20).

### 3.1.6. Equips i maquinària interiors mensual

MES	ELECTRICITAT: EQUIPS INTERIORS (GJ)
Gener	583,2230
Febrer	528,3160
Març	598,5110
Abril	565,6970
Maig	590,8670
Juny	577,6610
Juliol	578,9040
Agost	598,5110
Setembre	565,6970
Octubre	583,2230
Novembre	566,6920
Desembre	578,9040
<b>VALOR ANUAL</b>	<b>6916,21</b>

Taula 21. Consum elèctric mensual equips i maquinària interiors

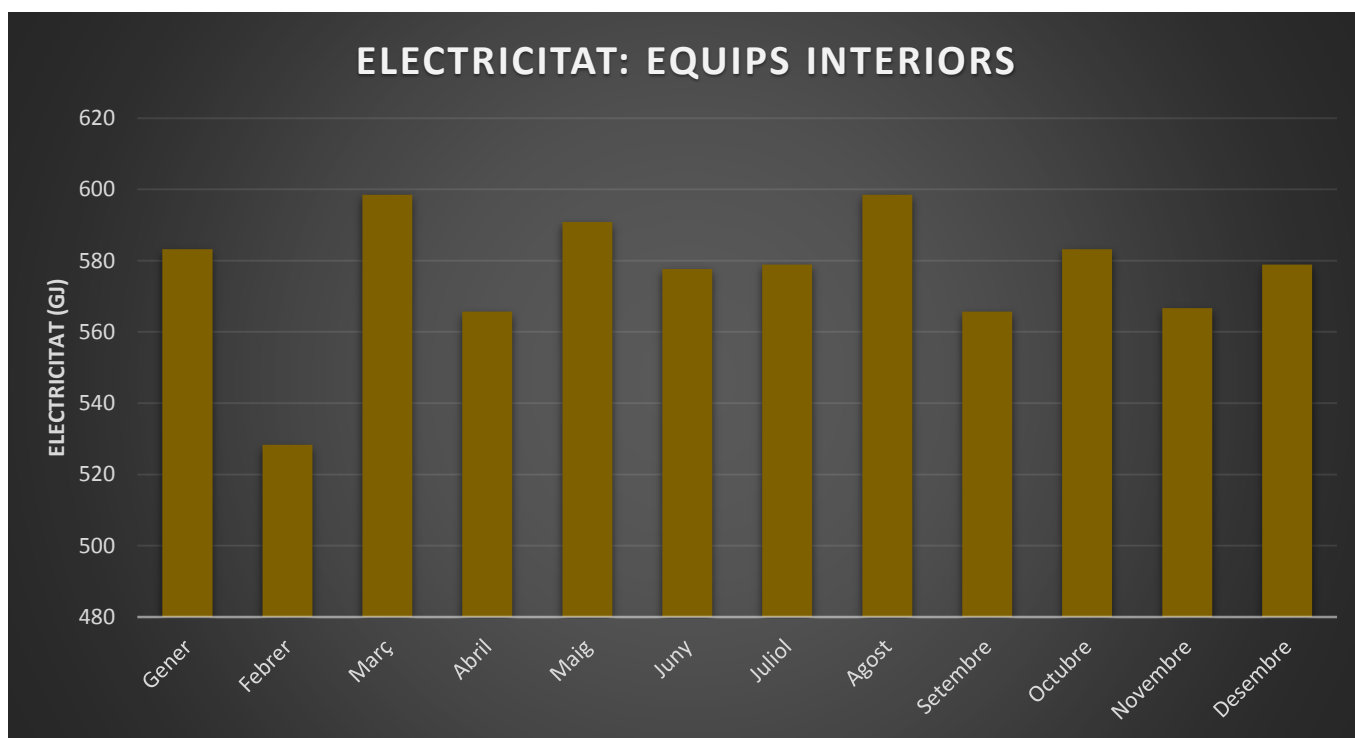


Figura 46. Consum elèctric mensual equips i maquinària interiors

Els equips interiors són els majors consumidors elèctrics de l'hospital, amb pics de prop de 600 GJ i amb un consum anual de 6916 GJ (taula 21). Els equips interiors engloben tots els aparells o màquines endollats que funcionen amb electricitat (màquines radiodiagnòstic, llits elèctrics, màquines subministrant i control de la medicació, ordenadors,...).

### 3.1.7. Equips i maquinària exteriors mensual

MES	ELECTRICITAT: EQUIPS EXTERIORS (GJ)
Gener	210,8560
Febrer	191,0340
Març	219,3780
Abril	203,9810
Maig	215,1170
Juny	211,3510
Juliol	207,7480
Agost	219,3780
Setembre	203,9810
Octubre	210,8560
Novembre	205,9360
Desembre	207,7480
<b>VALOR ANUAL</b>	<b>2507,36</b>

Taula 22. Consum elèctric mensual equips i maquinària exteriors

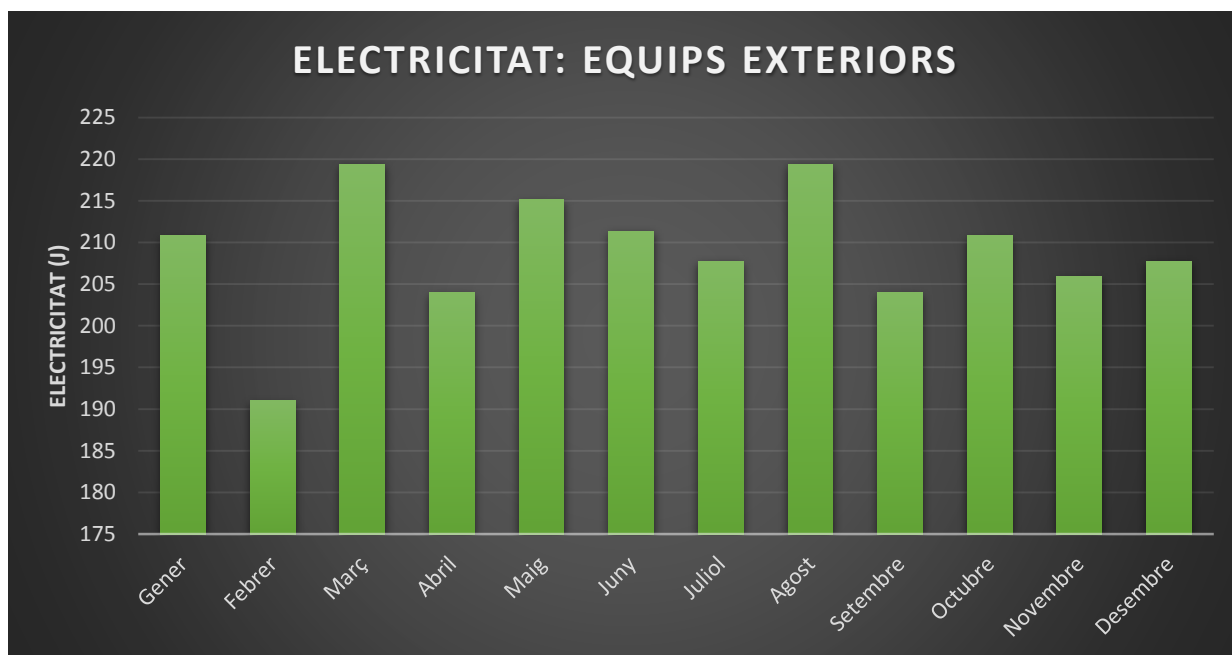


Figura 47. Consum elèctric mensual equips i maquinària exteriors

El consum dels equips exteriors es situa mensualment al voltant dels 200 GJ i el consum anual arriba fins als 2507 GJ (taula 22). La major part d'aquest consum està centrat amb els ascensors de tot l'hospital, essent uns grans consumidors elèctrics.



### 3.1.8. Bombes hidràuliques mensuals

MES	ELECTRICITAT: BOMBES HIDRÀULIQUES (J)
Gener	24,4946
Febrer	22,1530
Març	26,0414
Abril	27,9547
Maig	31,0417
Juny	39,9812
Juliol	50,4734
Agost	51,9436
Setembre	43,8151
Octubre	30,1112
Novembre	24,1100
Desembre	24,4689
<b>VALOR ANUAL</b>	<b>396,589</b>

Taula 23. Consum elèctric mensual bombes

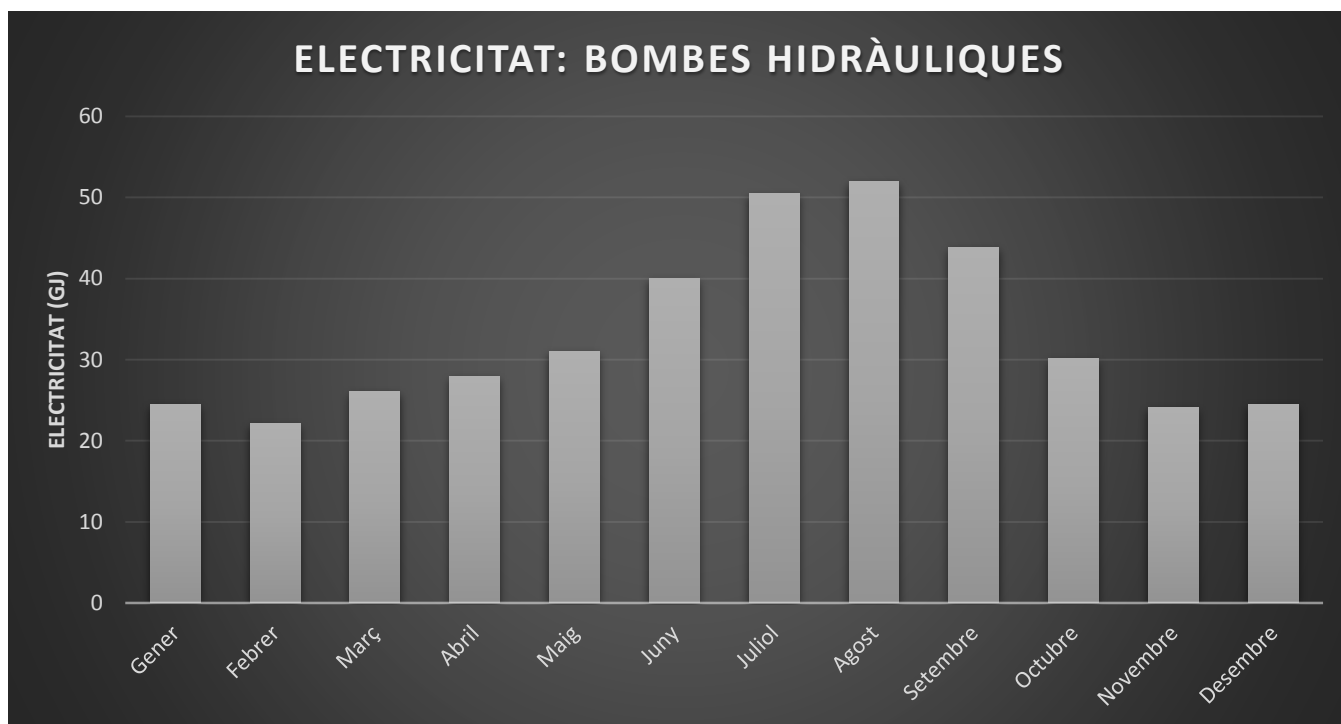


Figura 48. Consum elèctric mensual bombes

Les bombes són les encarregades de moure tots els fluids del sistema i durant els mesos d'estiu és quan més treballen degut a la refrigeració (bombes de les dos torres de refrigeració i dels dos refredadors). En canvi quan es paren els sistemes de fred només cal moure l'aigua calenta sanitària i l'aigua calenta per la calefacció amb bombes més petites. El consum màxim és de més de 50 GJ els mesos de juliol i agost i el consum anual de quasi 400 GJ (taula 23).

### 3.1.9. Altres consumidors

MES	ELECTRICITAT: ELIMINACIÓ CALOR (GJ)	ELECTRICITAT: HUMIDIFICADOR (GJ)	ELECTRICITAT: RECUPERACIÓ CALOR (GJ)
Gener	0,1397	63,4631	22,9714
Febrer	0,4056	54,8162	19,6587
Març	1,1766	42,0811	20,1574
Abril	2,4596	1,1129	18,1905
Maig	6,6988	0,0331	17,1207
Juny	31,7434	0,0000	16,0917
Juliol	65,9654	0,0000	18,2703
Agost	66,4145	0,0000	17,6018
Setembre	45,2713	0,0000	15,8453
Octubre	9,9157	0,0000	17,1561
Novembre	0,7653	2,5207	20,6454
Desembre	0,2729	36,6545	23,0563
<b>VALOR ANUAL</b>	<b>231,23</b>	<b>200,68</b>	<b>226,77</b>

Taula 24. Consum elèctric mensual d'altres aparells

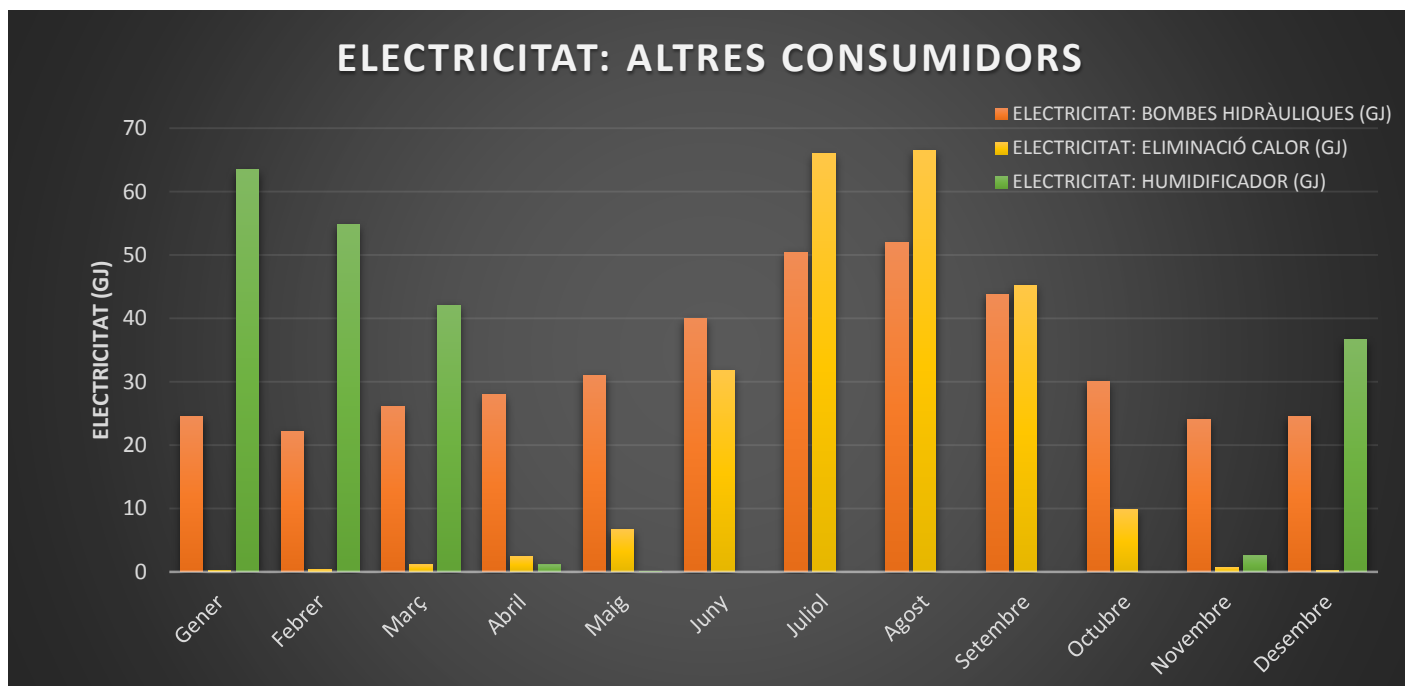


Figura 49. Consum elèctric mensual d'altres aparells

Els altres consumidors elèctrics de l'hospital són els sistemes d'eliminació de calor (torres de refrigeració), amb màxims en els mesos d'estiu i consum anual de 230 GJ; els equips d'humidificació de l'aire pels mesos d'hivern amb consum anual de 200 GJ i finalment els equips de recuperació de calor, que funcionen a plena càrrega a l'hivern i que consumeixen anualment 227 GJ. El consum anual dels tres consumidors és de 657 GJ.

### 3.1.10. Resum consum elèctric mensual

MES	CONSUM ELECTRICITAT EDIFICI (GJ)
Gener	1633,7927
Febrer	1463,6317
Març	1622,3556
Abril	1473,2438
Maig	1571,0321
Juny	1629,9213
Juliol	1777,6337
Agost	1827,5523
Setembre	1651,4874
Octubre	1549,6004
Novembre	1453,3231
Desembre	1574,1062
<b>VALOR ANUAL</b>	<b>19227,69</b>

Taula 25. Consum elèctric mensual de l'hospital

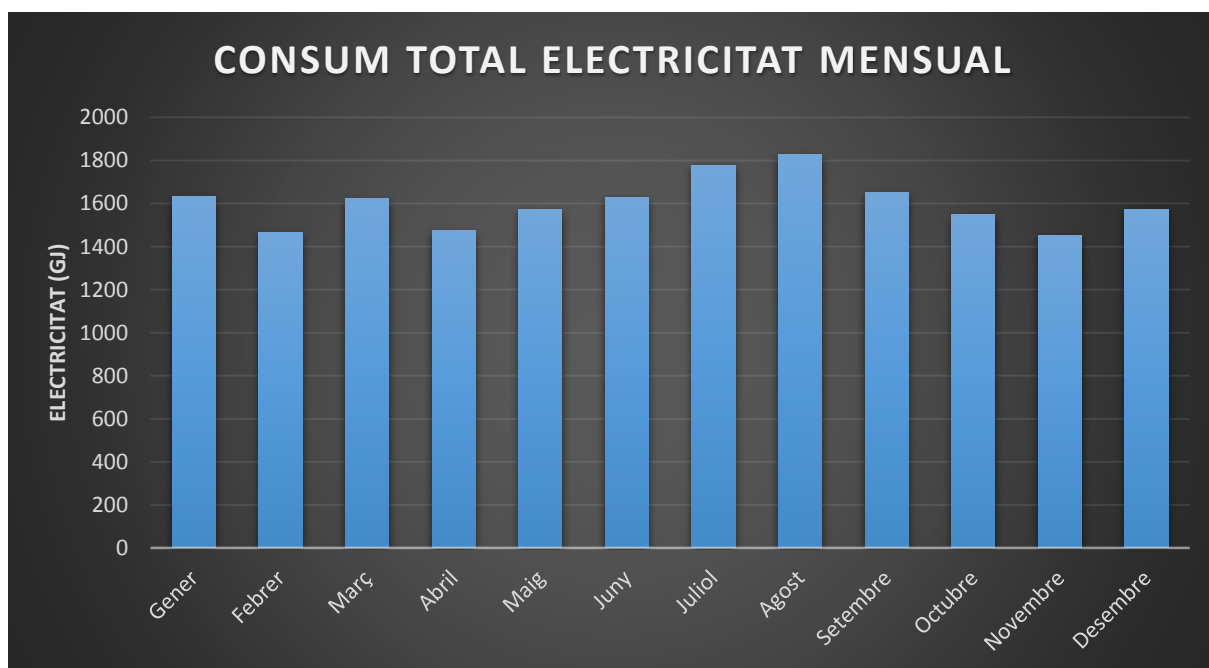


Figura 50. Consum elèctric mensual de l'hospital

Finalment, fent la suma de tots els consums elèctrics descrits anteriorment, s'obté el gràfic de la figura 48, amb màxims en els mesos de juliol i agost de més de 1800 GJ i un mínim en els mesos de febrer i abril d'una mica més de 1450 GJ.

El consum anual en electricitat és de 19227,69 GJ (taula 25).

## 3.2. Balanç del consum de gas natural mensual

### 3.2.1. Caldera principal

MES	GAS: CALDERA PRINCIPAL (GJ)
Gener	649,1070
Febrer	518,6190
Març	511,3510
Abril	452,3890
Maig	404,3630
Juny	351,1120
Juliol	339,3700
Agost	345,1710
Setembre	364,6390
Octubre	440,3940
Novembre	535,1100
Desembre	644,2670
VALOR ANUAL	5555,89

Taula 26. Consum mensual de gas per calefacció

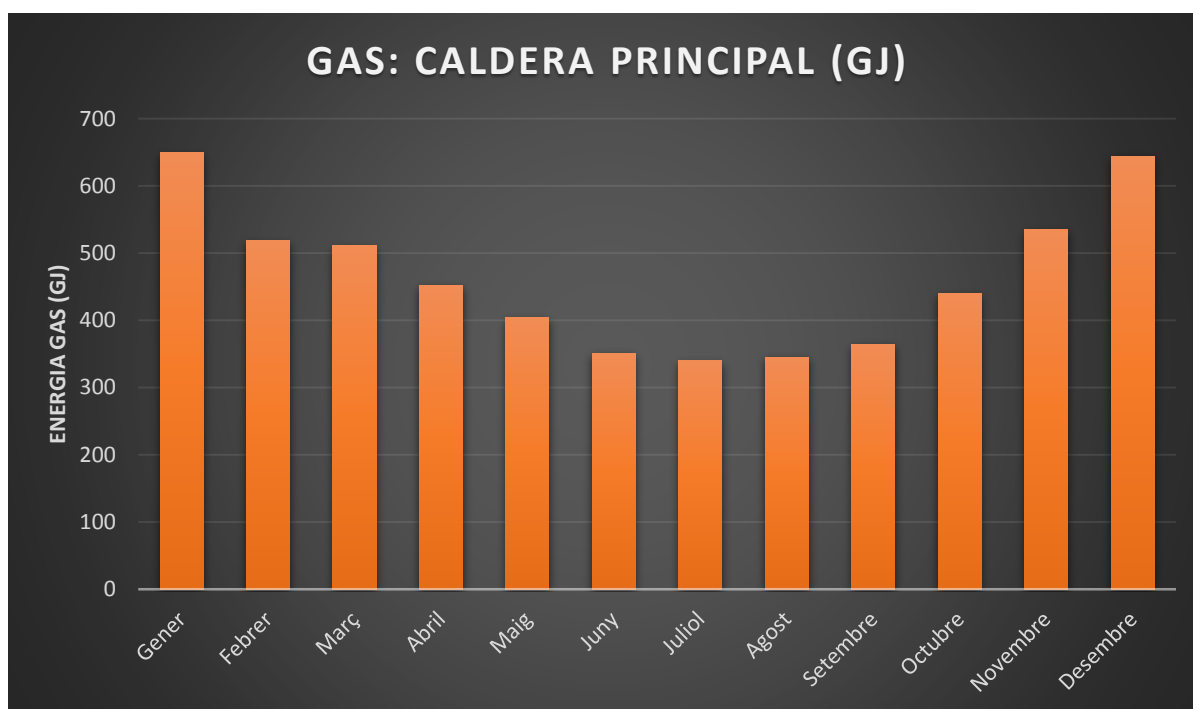


Figura 51. Consum mensual de gas per calefacció

El consum mensual de gas en la caldera principal engloba la calefacció en els mesos d'hivern (fent augmentar el consum mig), el vapor necessari pels sistemes d'esterilització i planxat així com altres processos secundaris. Els màxims es marquen en els mesos de més fred (desembre i gener) i els mínims en els mesos de més calor on només es fa servir vapor.

El consum anual de gas en la caldera principal és de 5556 GJ (taula 26).

### 3.2.2. Caldera secundària (ACS)

MES	GAS: ACS (GJ)
Gener	111,5190
Febrer	101,4610
Març	110,9800
Abril	101,9030
Maig	99,7871
Juny	91,2016
Juliol	89,5195
Agost	89,6229
Setembre	88,2321
Octubre	96,1782
Novembre	99,1120
Desembre	107,4110
VALOR ANUAL	1186,93

Taula 27. Consum mensual de gas pels sistemes d'aigua

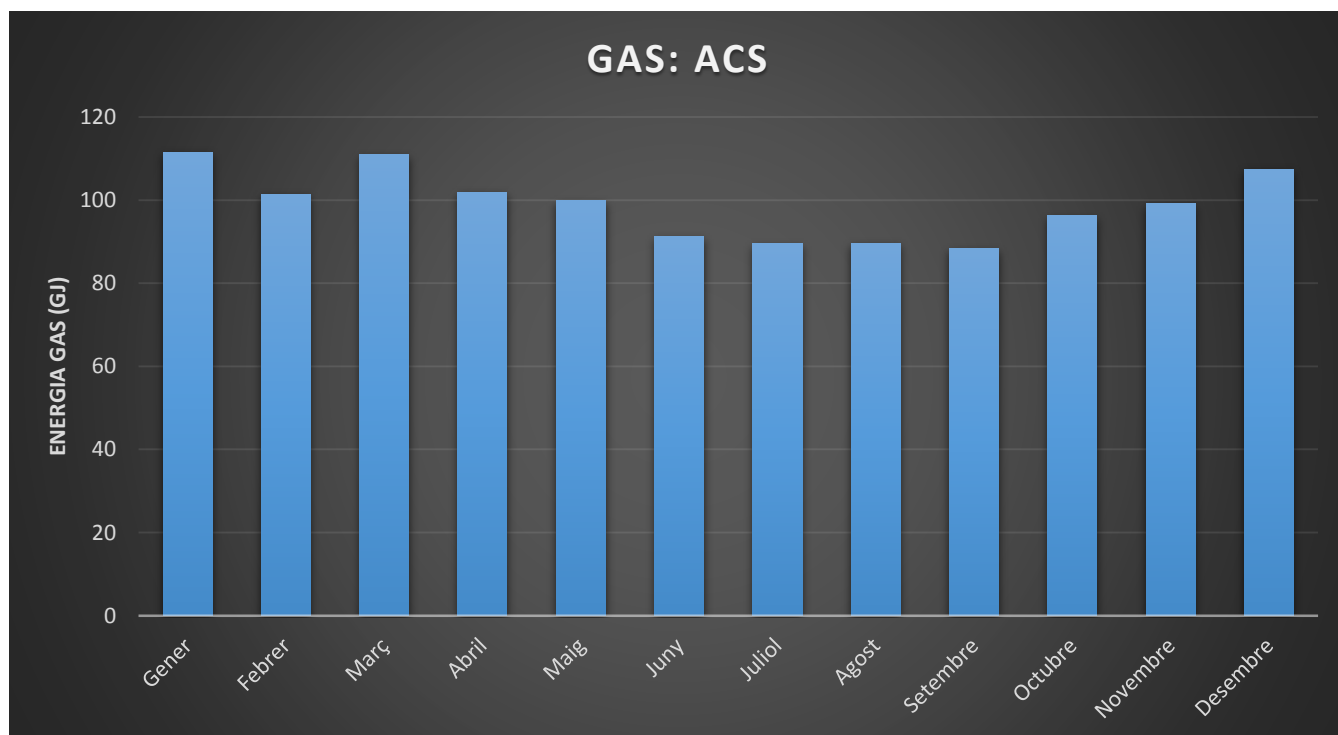


Figura 52. Consum mensual de gas pels sistemes d'aigua

El sistema d'ACS és aigua de consum humà de la xarxa que ha sigut escalfada i que avarca les funcions d'usos sanitaris (banys, dutxes, etc) i usos de neteja (rentaplats, rentadores, etc). El consum també es molt constant durant l'any situant-se sempre al voltant dels 100 GJ mensuals i 1187 GJ anuals (taula 27).

### 3.2.3. Equips i màquines amb gas

MES	GAS: EQUIPS DE GAS (GJ)
Gener	236,0560
Febrer	213,4920
Març	240,4830
Abril	228,3370
Maig	238,2690
Juny	232,2240
Juliol	234,3830
Agost	240,4830
Setembre	228,3370
Octubre	236,0560
Novembre	229,4710
Desembre	234,3830
<b>VALOR ANUAL</b>	<b>2791,97</b>

Taula 28. Consum mensual de gas per equips i maquinària

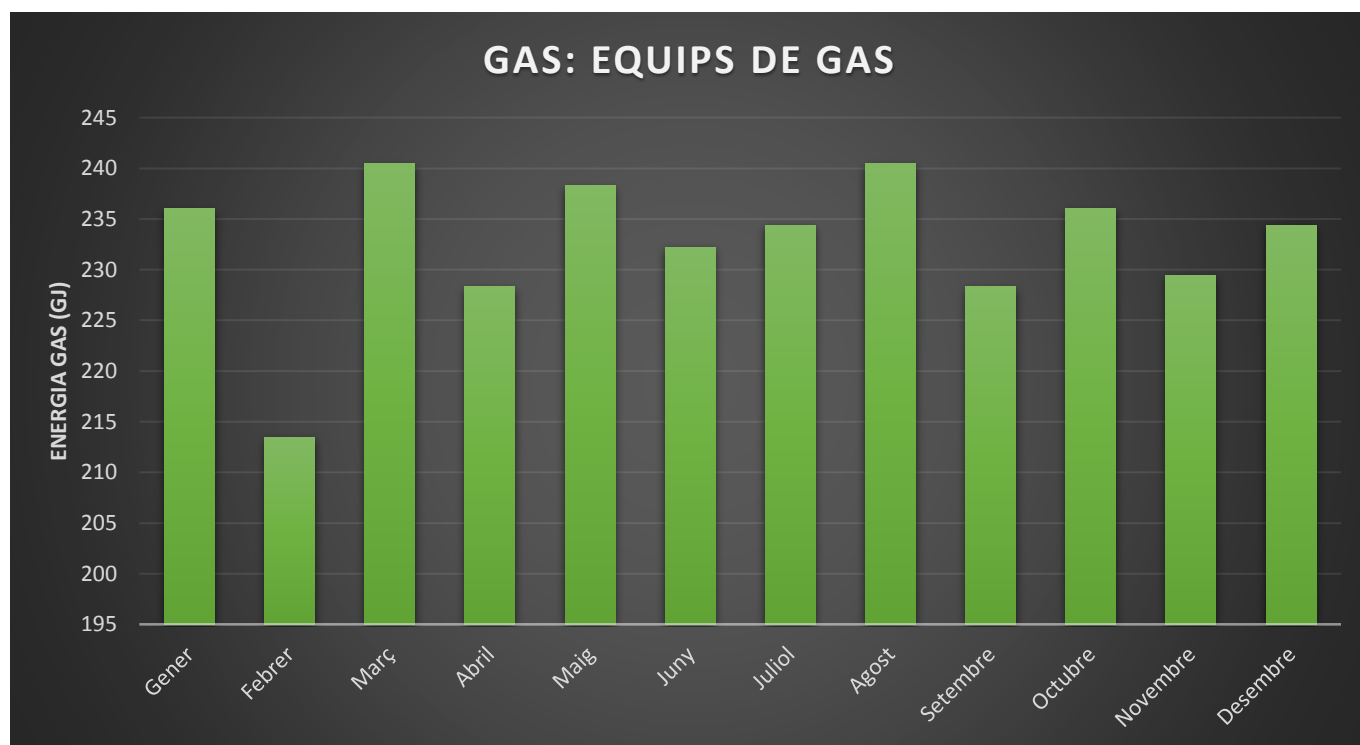


Figura 53. Consum mensual de gas per equips i maquinària

En l'interior d'un hospital existeixen equips que funcionen amb gas. La majoria a la cuina on per exemple trobem els forns i fogons. Un altre exemple és el bec de bunsen que serveix per escalfar o esterilitzar mostres o reactius químics amb gas provinent de la xarxa.

El consum mensual és relativament constant, amb valors que oscil·len els 200-240 GJ. Pel que fa a l'annual és de prop de 2800 GJ (taula 28).

### 3.2.4. Resum consum de gas mensual

MES	CONSUM GAS EDIFICI
Gener	996,6820
Febrer	833,5720
Març	862,8140
Abril	782,6290
Maig	742,4191
Juny	674,5376
Juliol	663,2725
Agost	675,2769
Setembre	681,2081
Octubre	772,6282
Novembre	863,6930
Desembre	986,0610
<b>VALOR ANUAL</b>	<b>9534,79</b>

Taula 29. Consum mensual de gas en l'hospital

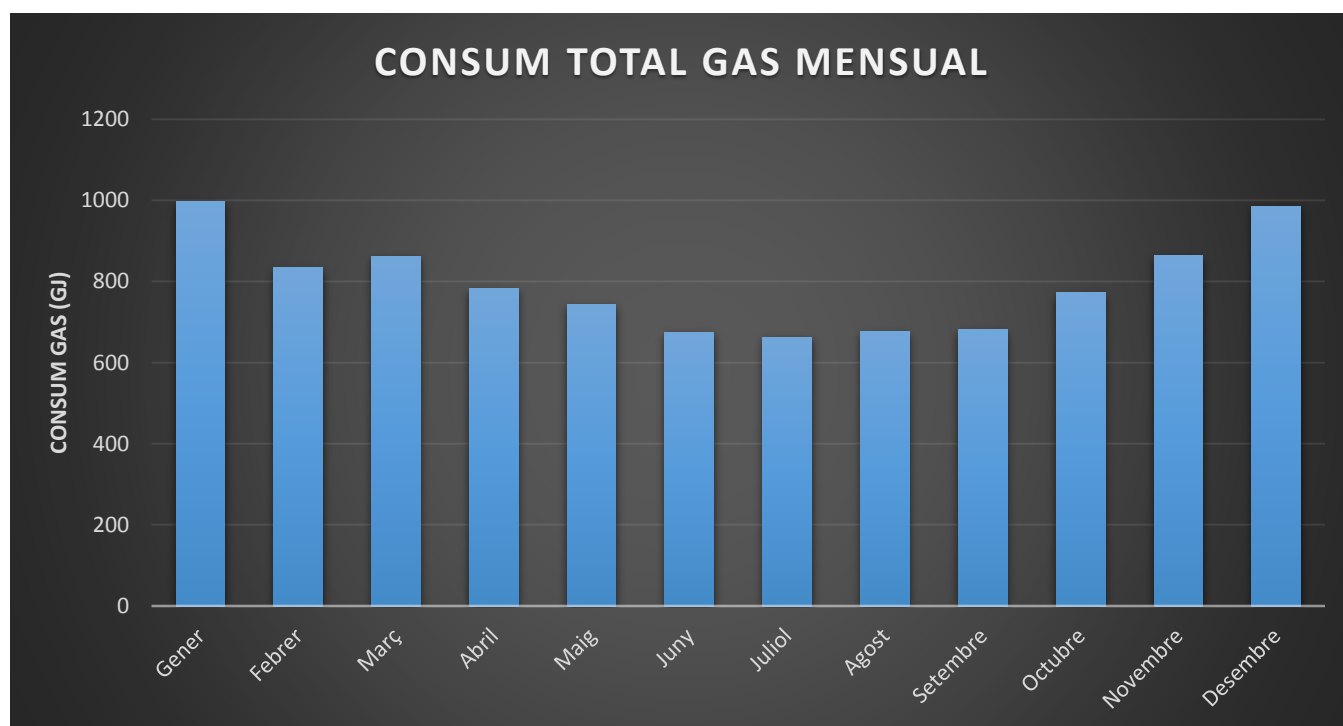


Figura 54. Consum mensual total de gas natural a l'hospital

Finalment, sumant els tres consumidors de gas citats amb anterioritat, segons la figura 53, els mesos de major consum són els d'hivern (on hi ha un elevat consum per la calefacció) i els mesos amb menor consum són els d'estiu (amb només el consum constant de ACS i equips de gas).

El consum total de gas es mostra en la taula 29, essent de 9535 GJ.

### 3.3. Resum consum energètic mensual

MES	CONSUM ELECTRICITAT EDIFICI (GJ)	CONSUM GAS EDIFICI (GJ)
Gener	1633,7926	996,6820
Febrer	1463,6316	833,5720
Març	1622,3555	862,8140
Abril	1473,2437	782,6290
Maig	1571,0321	742,4191
Juny	1629,9213	674,5376
Juliol	1777,6336	663,2725
Agost	1827,5523	675,2769
Setembre	1651,4873	681,2081
Octubre	1549,6003	772,6282
Novembre	1453,3230	863,6930
Desembre	1574,1062	986,0610
<b>VALOR ANUAL</b>	<b>19227,69</b>	<b>9534,79</b>

Taula 30. Consums mensuals totals d'electricitat i gas natural en l'hospital

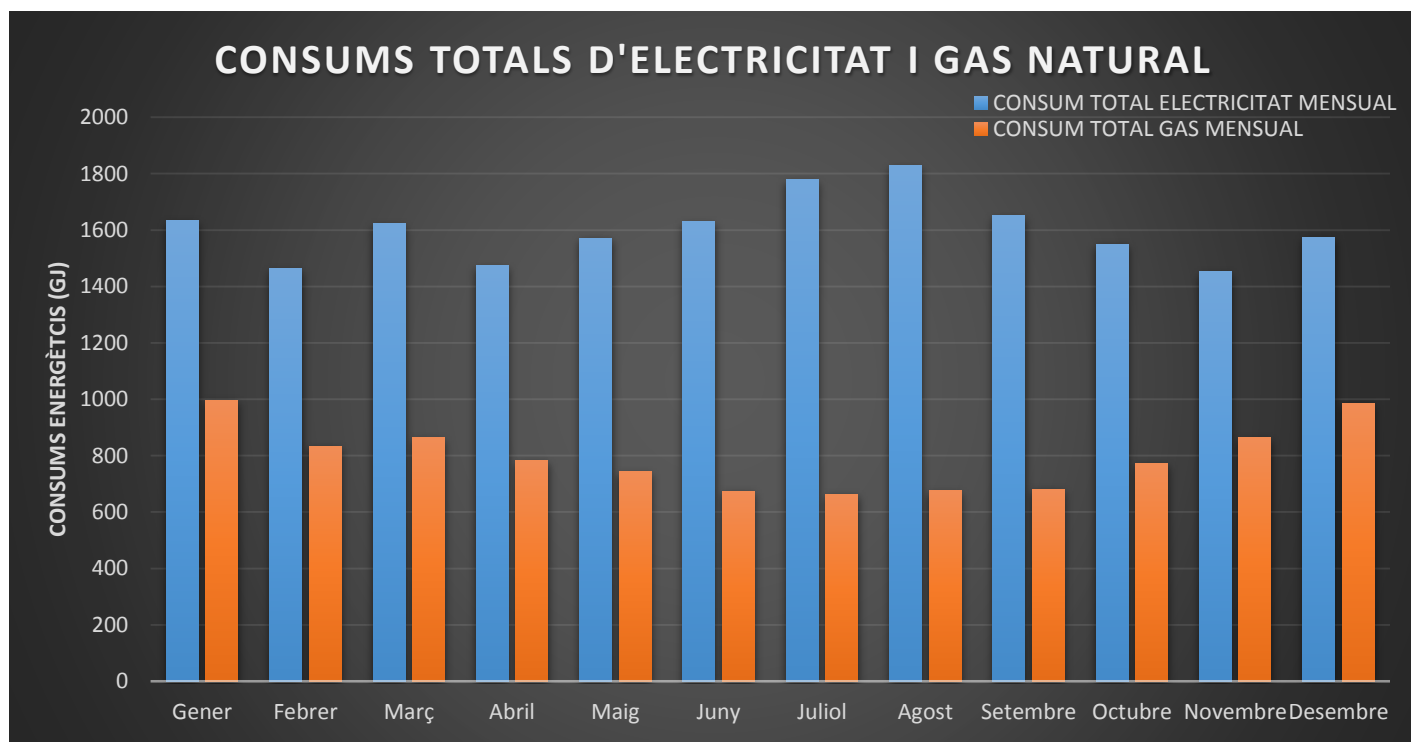


Figura 55. Consums mensuals totals d'electricitat i gas natural en l'hospital

El que s'observa a la figura 55 és un major consum d'electricitat durant tots els mesos de l'any, respecte el gas natural. El consum elèctric arriba a pics al voltant de 1800 GJ en el mesos de juliol i agost, provocats pel gran consum elèctric dels refredadors i mínims en els mesos de febrer, abril i novembre al voltant dels 1450 GJ, ja que aquests no s'utilitzen.



Pel que fa al gas, els mesos amb menys consum són els d'estiu (juny, juliol, agost i setembre) i els de més consum el desembre i gener amb màxims de quasi 1000 GJ.

### 3.4. Balanç del consum elèctric i de gas natural diari

En aquest apartat es mostren els consums de gas i electricitat horaris de l'hospital estudiat per un dia de cada mes de l'any destinats a calefacció, refrigeració, ACS o aparells amb gas (cuina).

#### 3.4.1. Dia típic gener

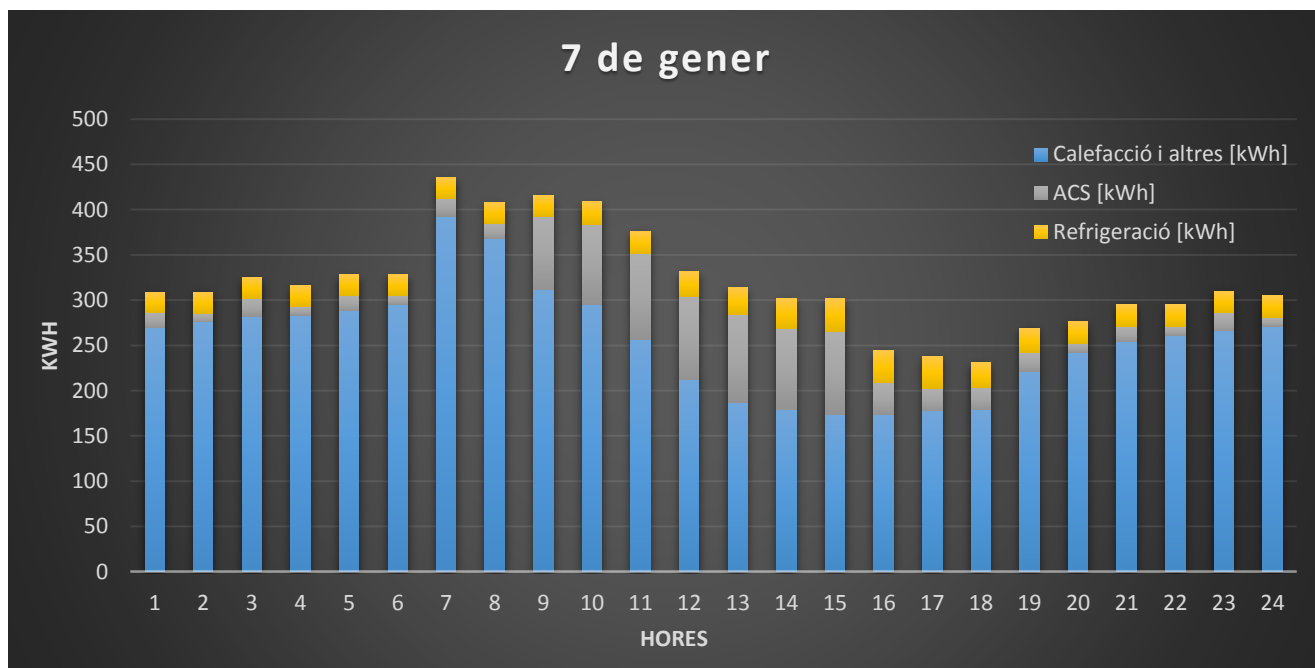


Figura 56. Consum energètic 7 de gener

#### 3.4.2. Dia típic febrer

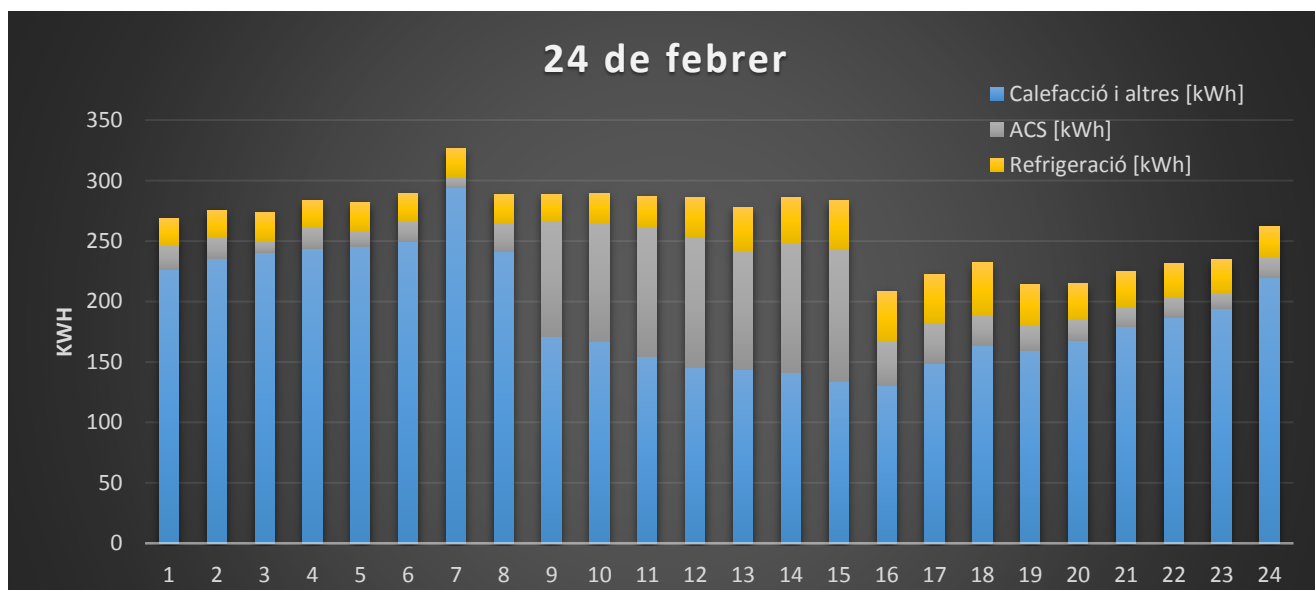


Figura 57. Consum energètic 24 de febrer

### 3.4.3. Dia típic març

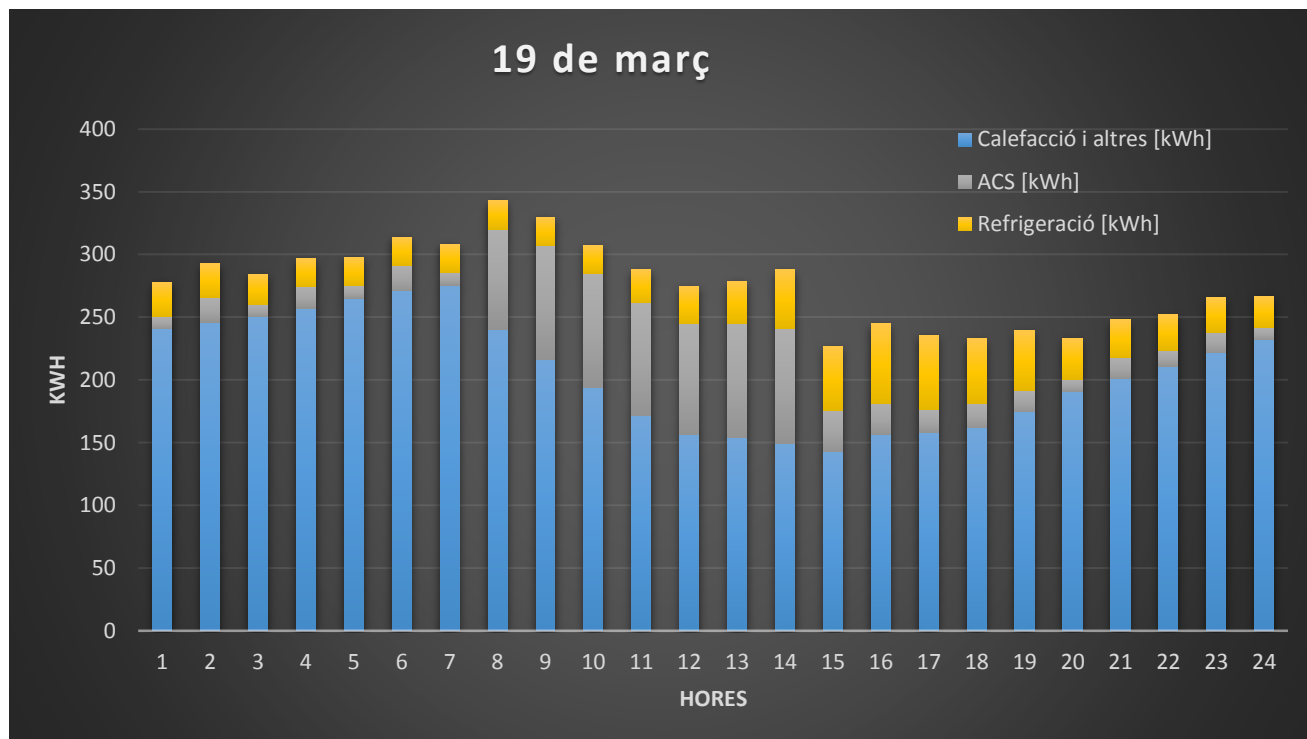


Figura 58. Consum energètic 19 de març

### 3.4.4. Dia típic abril

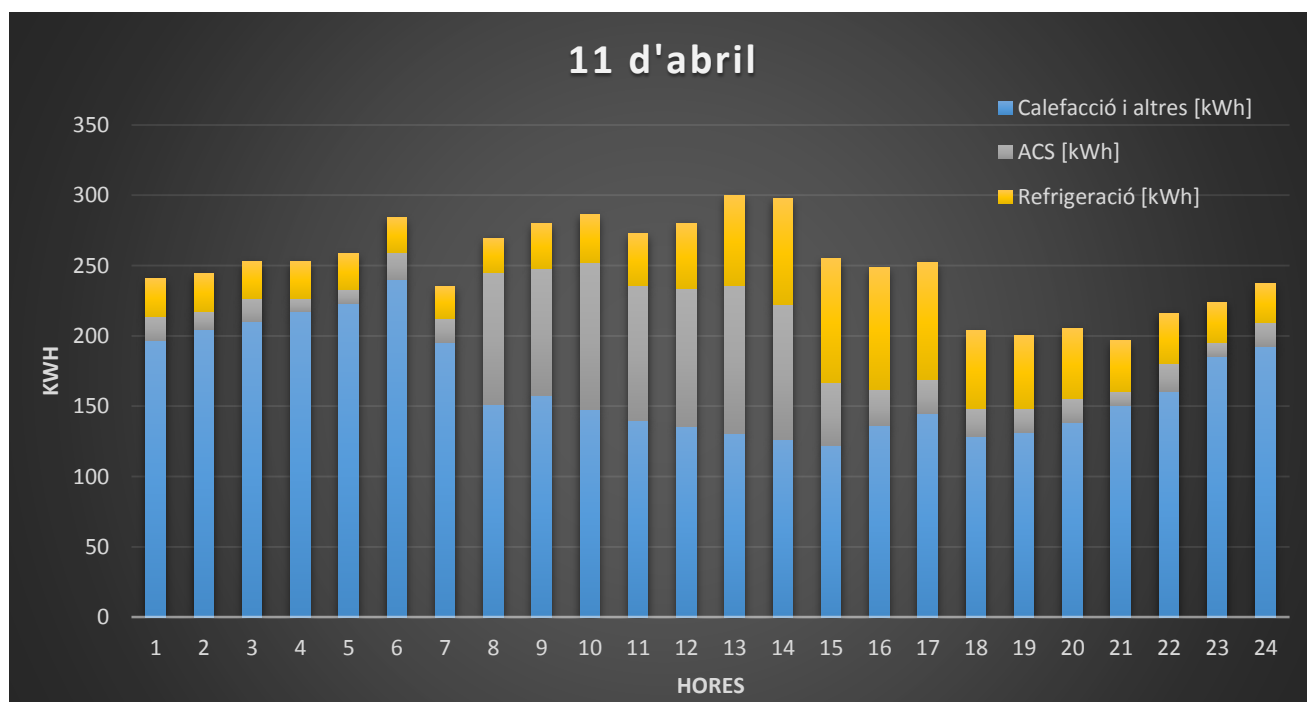


Figura 59. Consum energètic 11 d'abril

### 3.4.5. Dia típic maig

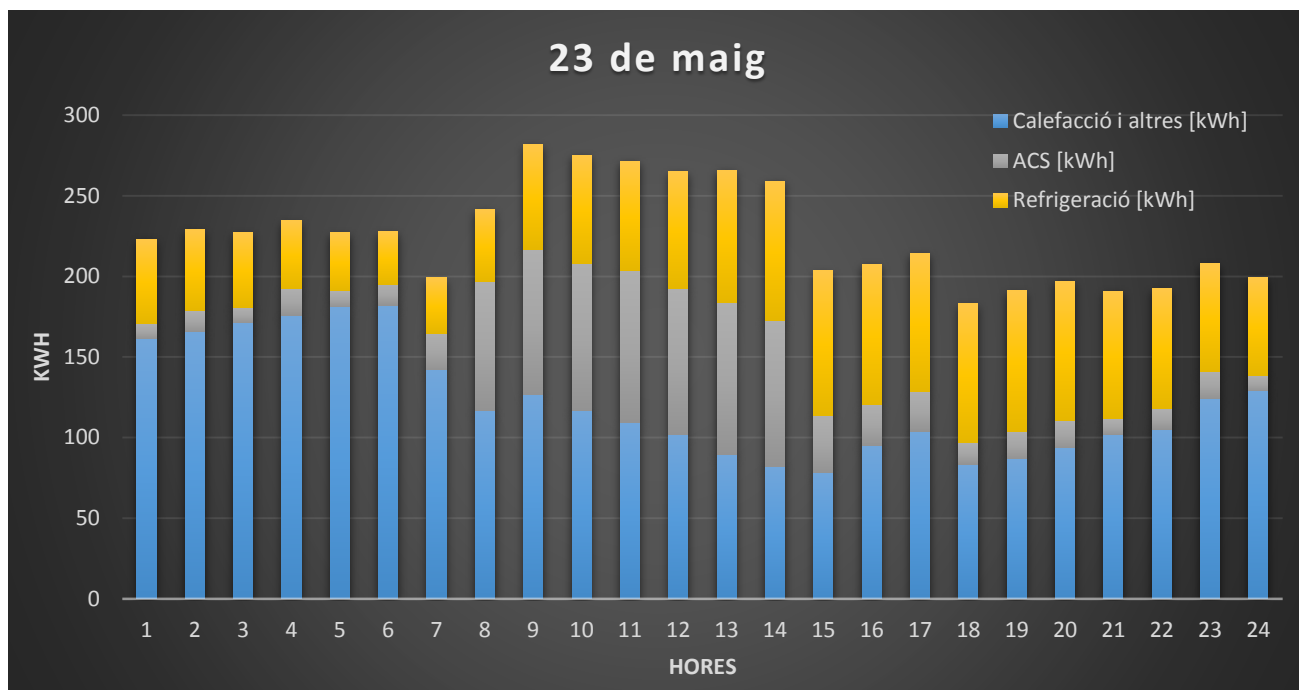


Figura 60. Consum energètic 23 de maig

### 3.4.6. Dia típic juny

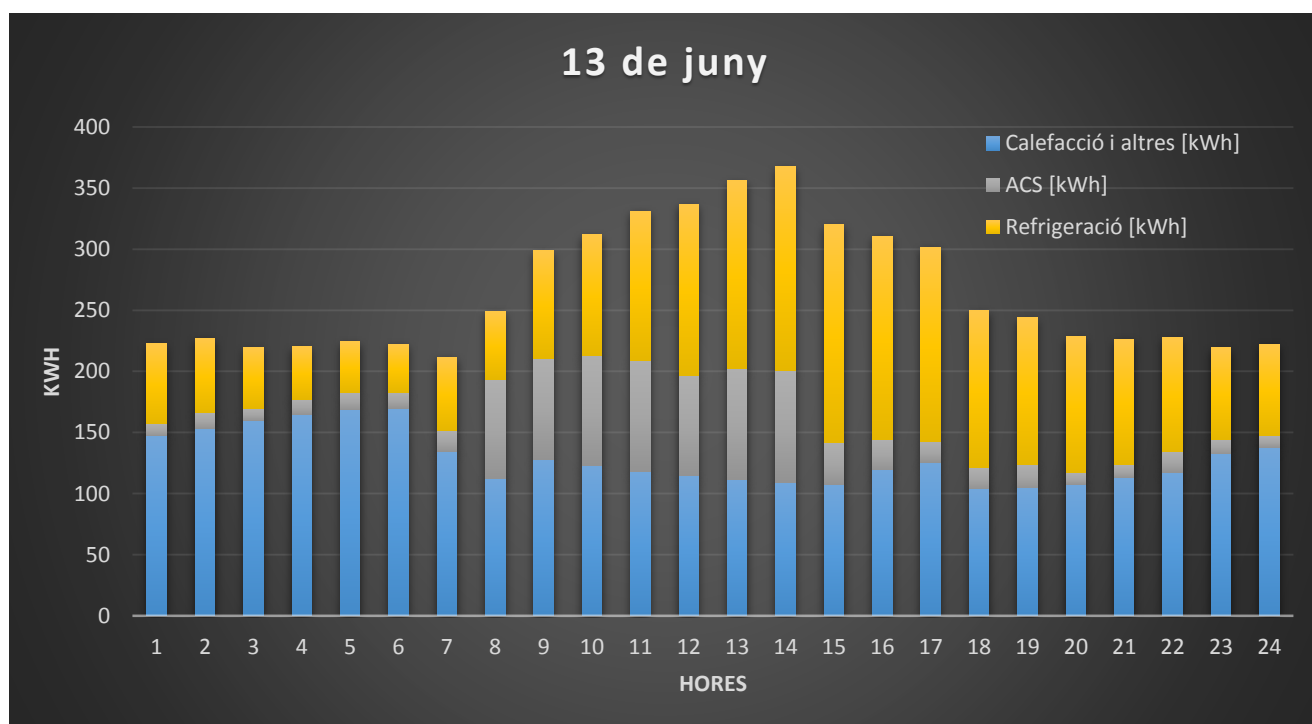


Figura 61. Consum energètic 13 de juny

### 3.4.7. Dia típic juliol

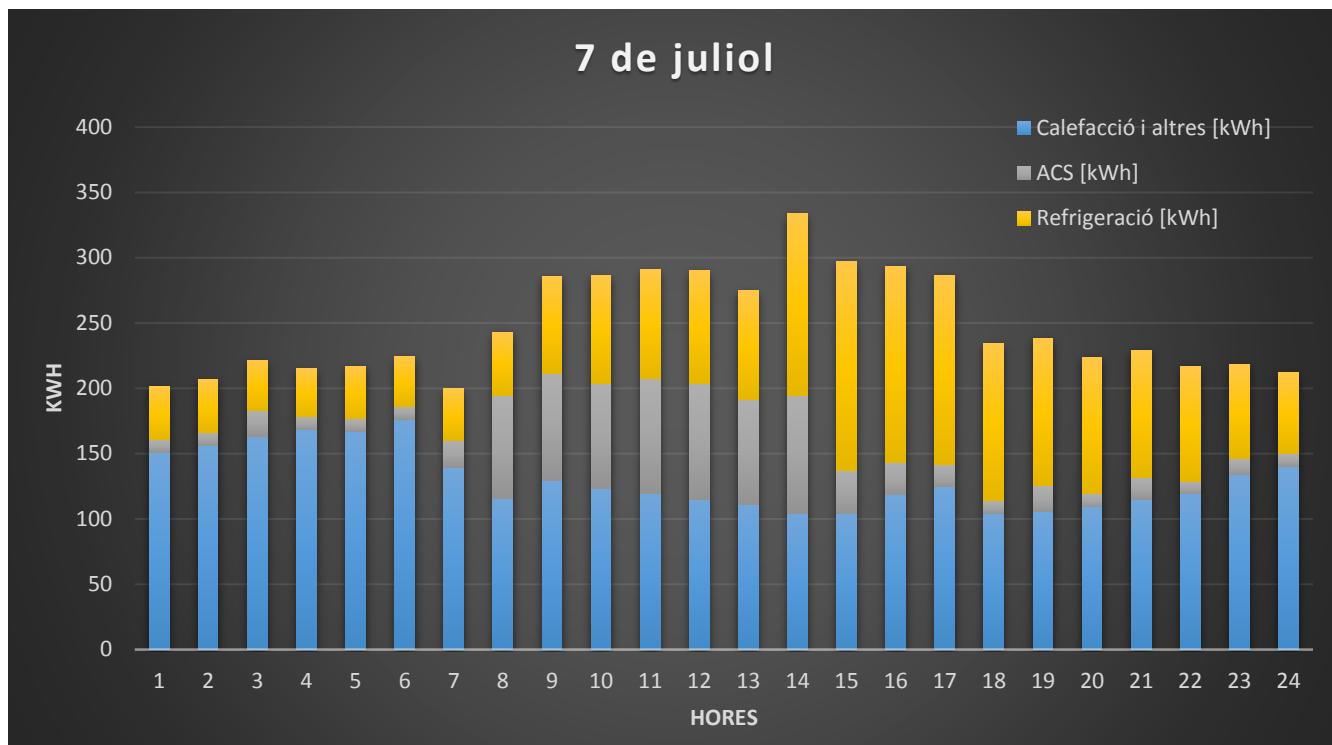


Figura 62. Consum energètic 7 de juliol

### 3.4.8. Dia típic agost

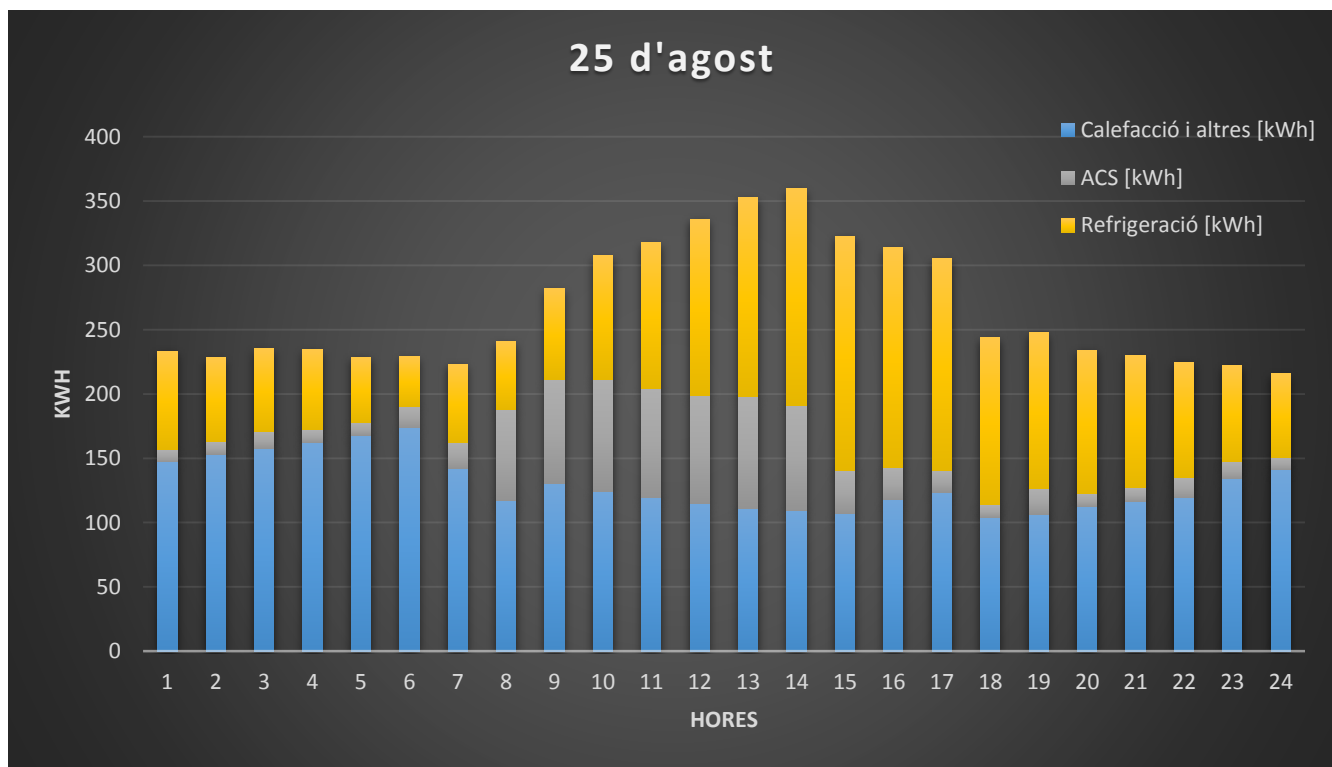


Figura 63. Consum energètic 25 d'agost

### 3.4.9. Dia típic setembre

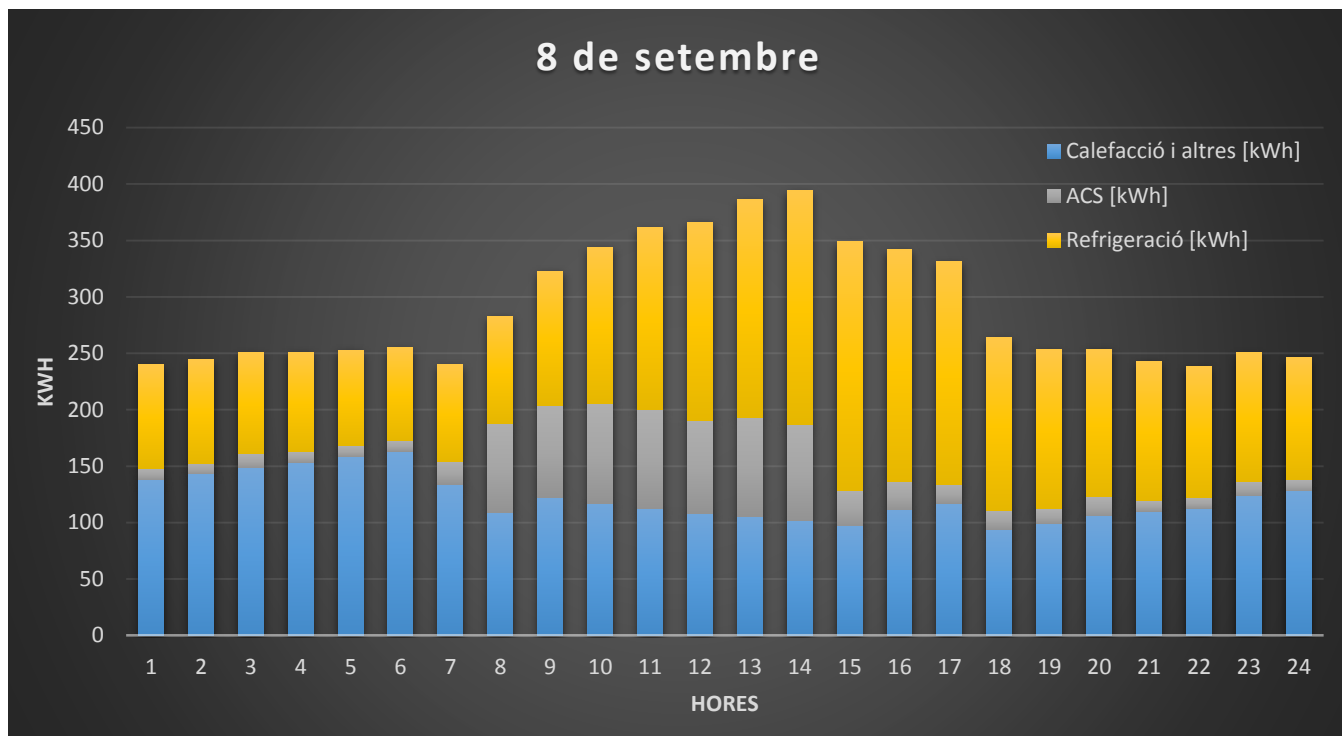


Figura 64. Consum energètic 8 de setembre

### 3.4.10. Dia típic octubre

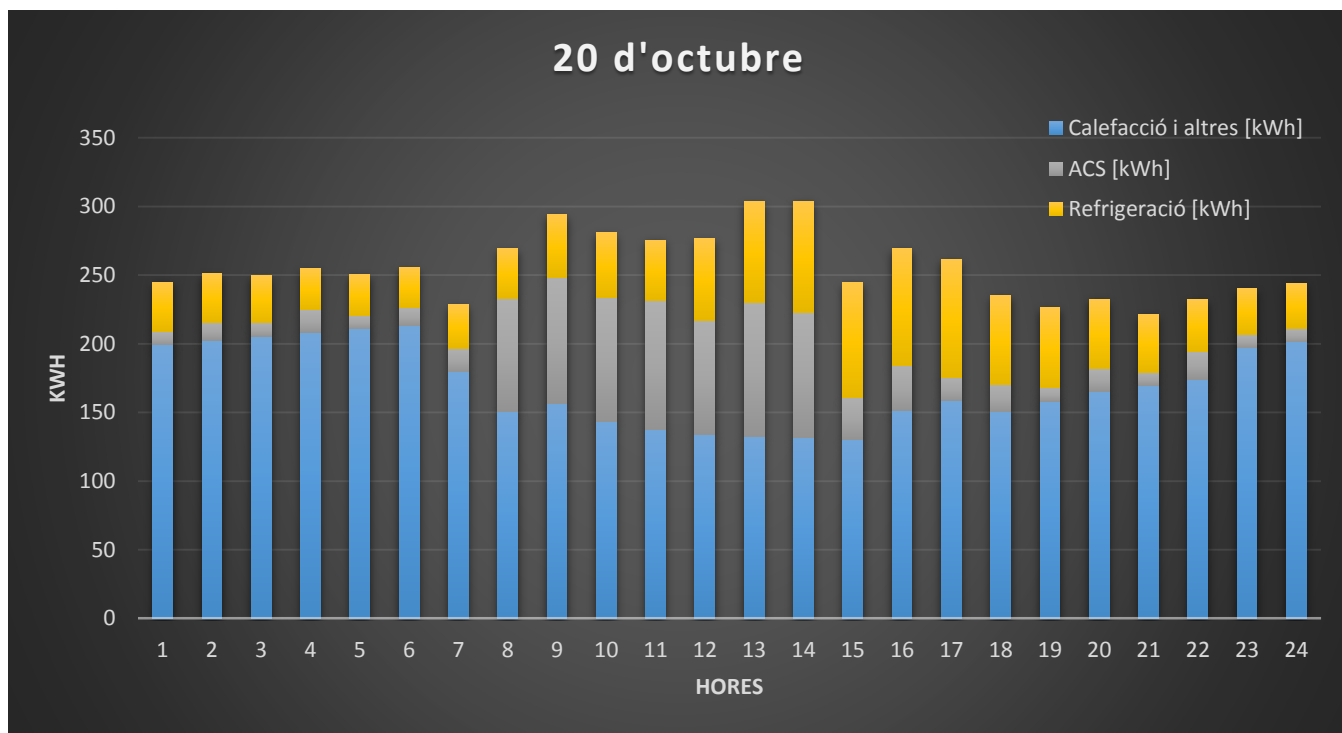


Figura 65. Consum energètic 20 d'octubre

### 3.4.11. Dia típic novembre

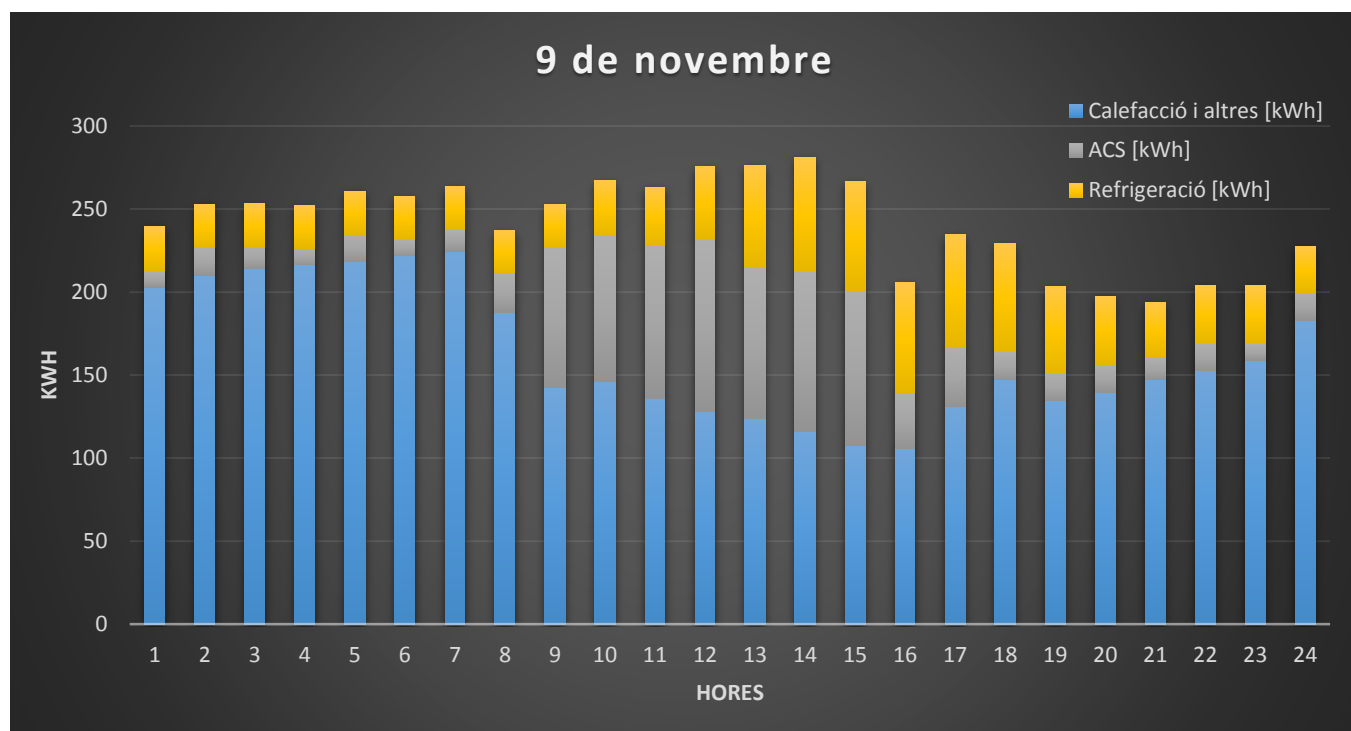


Figura 66. Consum energètic 9 de novembre

### 3.4.12. Dia típic desembre

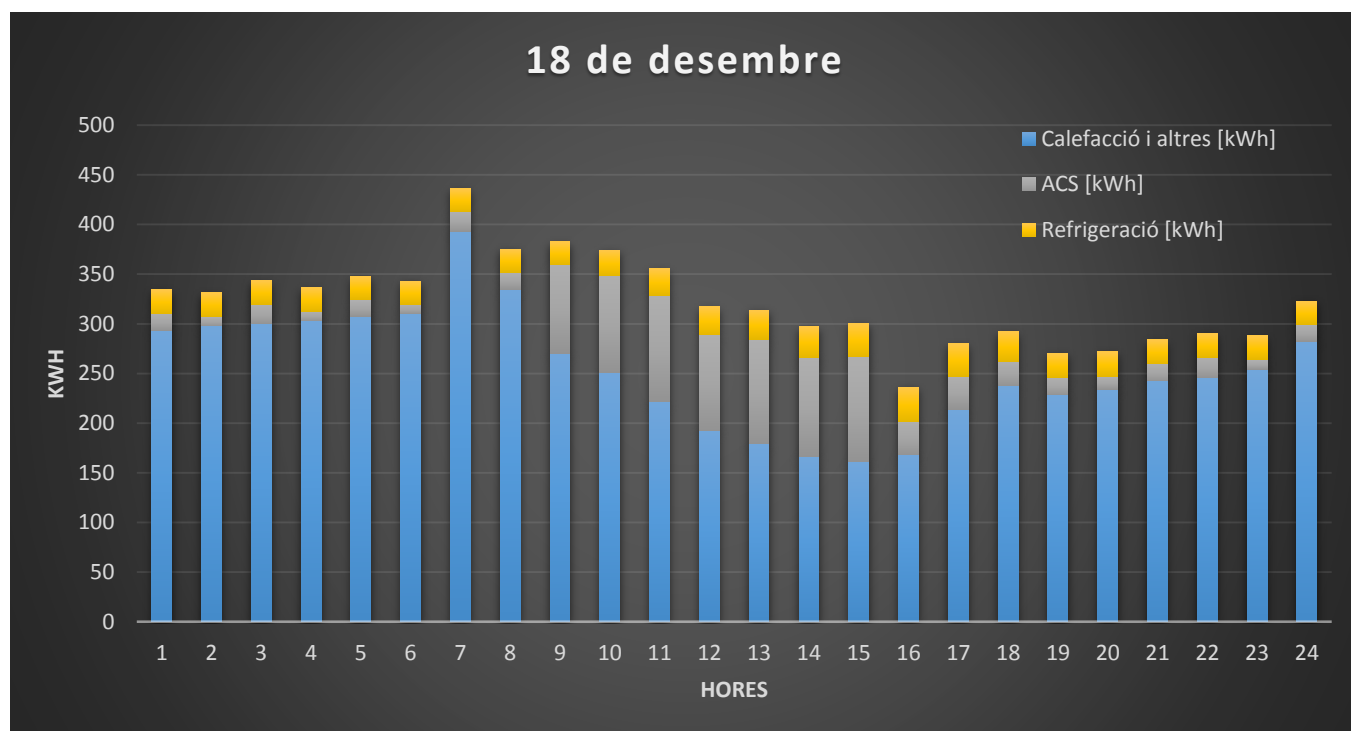


Figura 67. Consum energètic 18 de desembre

Dels anteriors gràfics (figures 56-67) es poden treure varies conclusions. En primer lloc, el consum d'aigua calenta sanitària és alt a partir de les 9h del matí, mantenint-se fins les 15h de la tarda i es va reduint progressivament fins les 19h aproximadament.

Respecte a la calefacció o la refrigeració és variable durant cada mes de l'any. Lògicament als mesos d'hivern es tenen alts consums de gas per calefacció amb pics a les nits que és quan fa més fred. En canvi amb la refrigeració els pics es tenen durant les hores de més calor (migdia-tarda). Cal tenir en compte que els consums d'electricitat pels compressors dels chillers és relativament baix ja que aquests aparells treballen amb uns rendiments d'aproximadament el 400% (COP=4).

Els mesos on el consum general és més alt són el gener, juny, agost, setembre i desembre, en alguns casos amb valors pic de més de 400 kW, provocats pel la demanda de calor al desembre i gener i per la demanda de fred en els mesos d'estiu.

En canvi, els valors mínims pic es registren en la resta de mesos, on es ronda o supera lleugerament els 300 kW, donat que no són mesos on es tingui ni molta calor ni molt fred.

### 3.5. Resum d'usos finals de l'energia i aigua anuals

	Electricitat (GJ)	Electricitat (kWh/any)	Gas Natural (GJ)	Gas Natural (kWh/any)	Aigua (m³)
CALOR	295,69	82136,08	5555,89	1543302,34	0
FRED	1829,89	508302,63	0	0	0
IL·LUMINACIÓ INTERIOR	3512,22	975616,39	0	0	0
IL·LUMINACIÓ EXTERIOR	205,5	57083,31	0	0	0
EQUIPS INTERIORS	6916,21	1921168,90	2791,97	775547,01	0
EQUIPS EXTERIORS	2507,36	696488,69	0	0	0
VENTILACIÓ	2879,08	799744,22	0	0	0
BOMBES	396,59	110163,85	0	0	0
ELIMINACIÓ DE CALOR	231,23	64230,53	0	0	11001,07
HUMIDIFICACIÓ	200,68	55744,42	0	0	74,65
RECUPERACIÓ DE CALOR	226,77	62991,64	0	0	0
SISTEMES D'AIGUA	26,47	7352,77	1186,93	329702,69	4534,6
REFRIGERACIÓ	152,31	42308,32	0	0	0
<b>USOS FINALS TOTALS</b>	<b>19380,00 GJ</b>	<b>5383331,83 kWh</b>	<b>9534,79 GJ</b>	<b>2648552,04 kWh</b>	<b>15610,32 m³</b>

Taula 31. Usos finals de l'energia i l'aigua

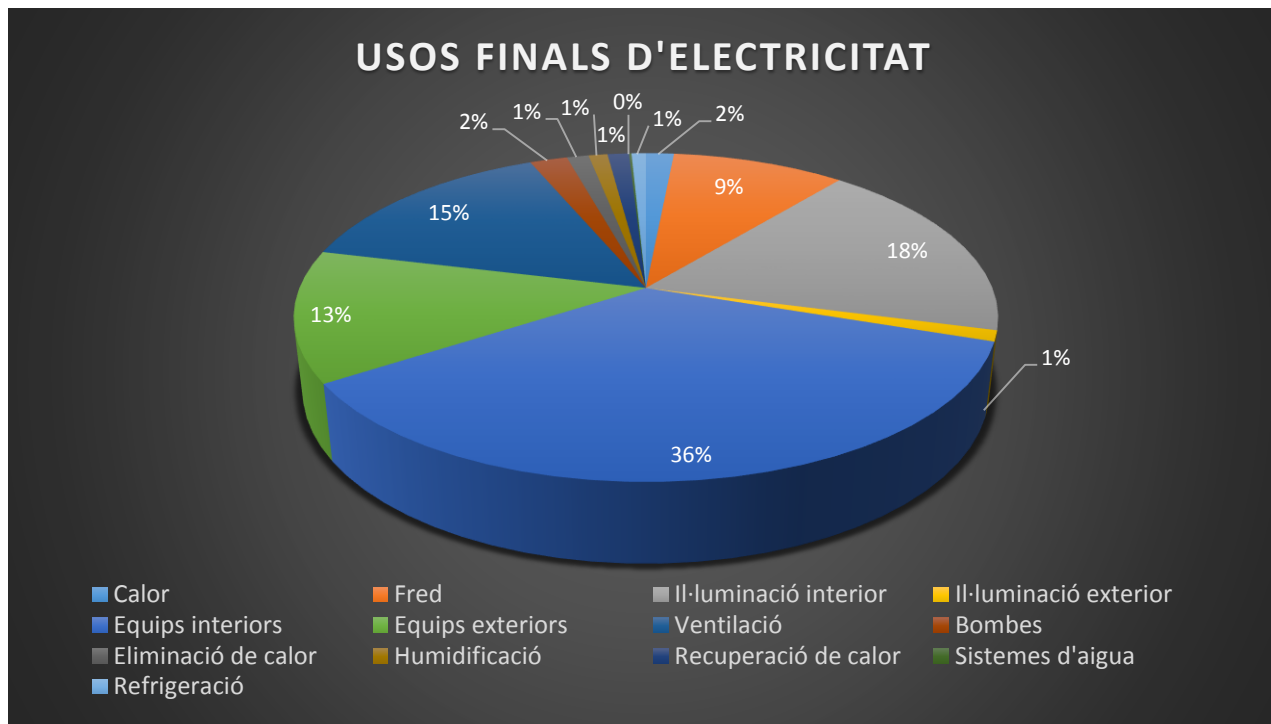


Figura 68. Distribució dels usos finals de l'electricitat en l'hospital



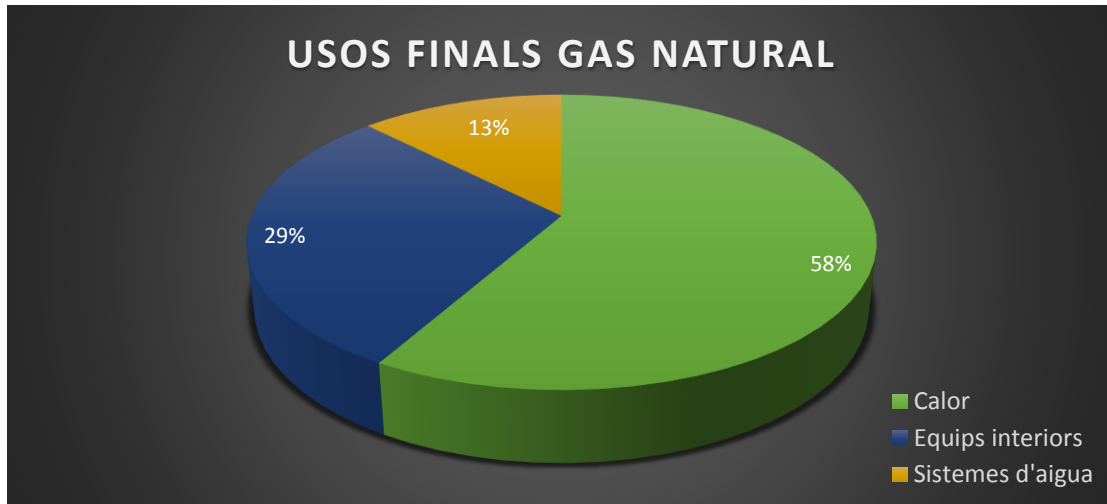


Figura 69. Distribució dels usos finals de gas natural en l'hospital

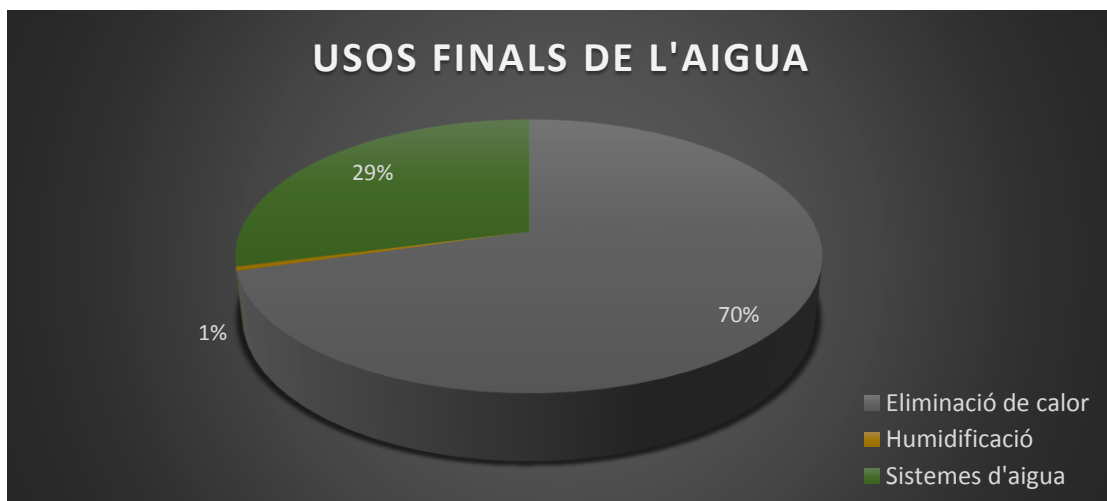


Figura 70. Distribució dels usos finals de l'aigua en l'hospital

Mirant els diagrames de les figures 68, 69 i 70 es veu ràpidament quins són els grans consumidors de cada grup i per tant, els que més es tindran que tenir en compte a l'hora de dimensionar la instal·lació de trigeneració.

En el cas de l'electricitat (Fig. 68), els majors consumidors són els equips interiors, seguits de la il·luminació interior, la ventilació, els equips exteriors i els refredadors, representant aquests més del 90% de l'energia consumida.

Pel que fa al gas natural (Fig. 69), el 58% de l'energia va destinada a la calefacció i la resta es reparteix amb els equips interiors i els sistemes d'aigua.

Finalment en el cas de l'aigua (Fig. 70), la major part de litres de consum es centra amb l'eliminació de calor mitjançant les torres de refrigeració (70%), on es necessita un gran cabal. Quasi el 30% restant és l'aigua que circula pels tubs de calefacció o altres sistemes.

## 4. Estudi d'implantació del sistema de trigeneració

### 4.1. Tecnologia a utilitzar

El tipus de tecnologia o sistema energètic escollit ha de complir una sèrie de requeriments:

- **Sostenible:** Ha de ser respectuós amb el medi ambient, creant energia a partir d'una font d'energia renovable.
- **Autònom:** S'ha de aconseguir una certa autonomia de funcionament. Depenent de cada tecnologia l'autonomia varia.
- **Rentable:** El sistema ha de produir una reducció dels costos totals de producció d'energia a curt, mitjà o llarg termini respecte al sistema de producció d'energia convencional.
- **Fiable:** La fiabilitat és un requeriment clau a causa de l'activitat que es desenvolupa en un hospital. En el cas de que la fiabilitat no fos suficient, s'han d'estudiar sistemes alternatius amb el fi de mantenir l'activitat amb normalitat el major temps possible.
- **Integrable:** En el cas que el sistema no arribi a cobrir les demandes energètiques totals de l'edifici, s'han de tenir altres sistemes de subministrament o generació d'energia complementaris per satisfer les necessitats energètiques.

Després de la comparació de les característiques de moltes tecnologies, s'ha optat per un sistema de trigeneració per biomassa amb turbines de vapor amb cicle orgànic de Rankine (ORC) amb un sistema de refrigeració per absorció. Les raons d'aquesta decisió s'expliquen a continuació:

- 1) La biomassa és un recurs energètic renovable molt accessible i que té un balanç d'emissions zero.
- 2) En la combustió de biomassa, els gasos només es poden utilitzar per escalfar un líquid (aigua, oli tèrmic, etc.), per tant la generació elèctrica només es pot fer amb una turbina de vapor.
- 3) El sistema ORC es molt apropiat per aplicacions d'aprofitament de calor residual per la producció d'electricitat. És un sistema senzill, fiable, silenciós, amb una integració fàcil amb instal·lacions existents i un bon funcionament a càrregues parcials.
- 4) Amb un intercanviador de calor a la sortida de la turbina es produeix aigua calenta per satisfer les necessitats de calefacció, ACS, etc.
- 5) A partir de l'aigua calenta també es pot alimentar una màquina d'absorció per produir aigua freda i així refrigerar l'edifici.



## 4.2. Esquema bàsic de la instal·lació proposada

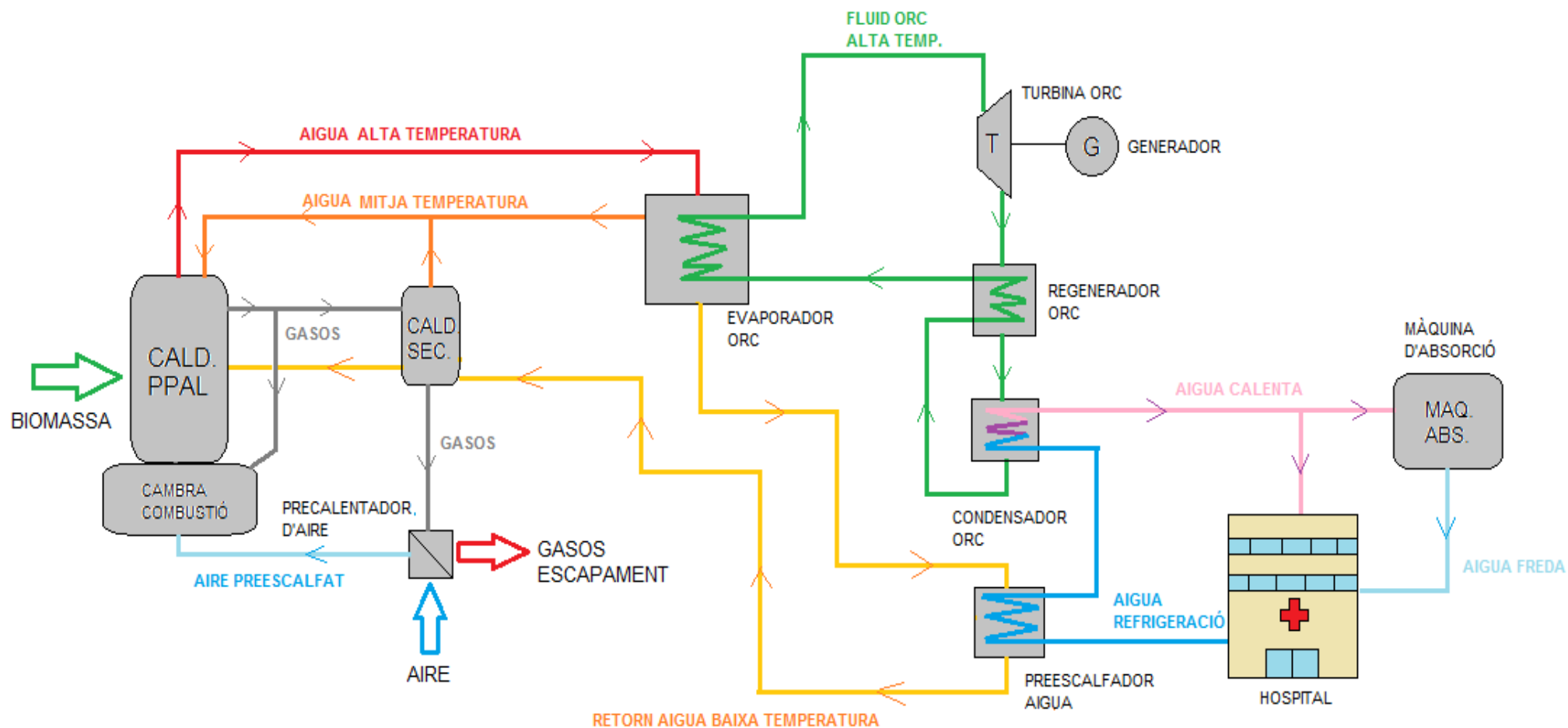


Figura 71. Diagrama general de la instal·lació de trigeneració amb biomassa

### 4.3. Dimensionat del sistema

#### 4.3.1. Aspectes previs a considerar

La planta de cogeneració de l'estudi serà una instal·lació de producció d'energia elèctrica prevista pel RD 413/2014 el qual regula l'activitat de producció d'energia elèctrica a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus. El real decret classifica les instal·lacions en categories, grups i subgrups en funció de les energies primàries utilitzades, de les tecnologies de producció utilitzades i dels rendiments energètics obtinguts.

En l'article 2 del RD es diferencien dos grans categories. La primera inclou la producció d'energia elèctrica a partir de combustibles fòssils o residus i la segona a partir d'energies renovables no fòssils. En el cas del nostre cas, pertany a la segona categoria (b) i dins el grup 6 (b.6); *Centrals de generació elèctrica o de cogeneració que utilitzen com a combustible principal biomassa procedent de cultius energètics, d'activitats agrícoles, ramaderes o de jardineries, d'aprofitaments forestals i altres operacions silvícoles a les masses forestals i els espais verds. S'entén com a combustible principal el combustible que suposa, com a mínim, el 90 per cent de l'energia primària utilitzada, mesurada pel poder calorífic inferior.*

En l'annex I especifica que els sistemes de generació elèctrica del grup b.6 han d'assolir uns nivells de rendiment per la seva generació bruta d'energia elèctrica:

1. Un mínim del 18% per a potències fins a 5 MW.
2. Un mínim del 20% per a potències entre 5 MW i 10 MW.
3. Un mínim del 22% per a potències entre 10 MW i 20 MW.
4. Un mínim del 24% per a potències superiors a 20 MW.

El rendiment es calcula a partir de la següent expressió:

$$Rend = \frac{[PEB] \times 0,086}{EPC}$$

On:

[PEB]: producció elèctrica bruta anual, en MWh.

EPC: energia primària consumida, en tones equivalents de petroli, comptabilitzant PCI.

En el present estudi la trigeneració pretén la producció d'energia elèctrica i tèrmica que s'utilitzarà per satisfer la demanda de calor en calefacció, ACS i refrigeració, actualment subministrades mitjançant producció de calor amb calderes de gas i sistemes de refrigeració amb refredadors elèctrics per aigua.

En l'annex XIV del RD es defineixen les condicions d'eficiència energètica exigides a les instal·lacions de cogeneració. En primer lloc, el rendiment elèctric equivalent (REE) de les instal·lacions de cogeneració en el període anual ha de ser igual o superior al que li correspongui segons una taula. Per combustibles sòlids com la biomassa, el rendiment ha de ser superior al 49%. Per instal·lacions amb una potència instal·lada inferior o igual a 1MW, el valor mínim de REE ha de ser un 10% inferior al de la taula, per tant en el nostre cas es pot baixar fins al 39%.

El rendiment elèctric equivalent es determina per mitjà de la següent fórmula:

$$REE = \frac{E}{F - \frac{H}{RefH}}$$

On:

REE: rendiment elèctric equivalent

E: energia elèctrica generada mesurada en borns d'alternador, expressada en MWh<sub>E</sub>.

F: consum de combustible tant de la cogeneració com dels dispositius de postcombustió en cas que n'hi hagi. Aquest valor s'expressa en MWh<sub>PCI</sub>.

H: producció de calor útil o energia tèrmica útil definida d'acord amb l'apartat b) de l'article 2 del Reial decret 616/2007 d'11 de maig, sobre foment de la cogeneració, i de la calor produïda pels dispositius de postcombustió en cas que n'hi hagi. Aquest valor s'expressa en MWh<sub>T</sub>.

Ref H: valor de referència del rendiment per a la producció separada de calor que apareix publicat a l'annex II de la Decisió de la Comissió de 19 de desembre de 2011, per la qual s'estableixen valors de referència harmonitzats per a la producció per separat d'electricitat i calor.

### 4.3.2. Elecció de l'equip de trigeneració

#### 4.3.2.1. DEMANDA TÈRMICA

El valor bàsic per dimensionar correctament l'equip de trigeneració és la necessitat de calor que té l'hospital al llarg de l'any, ja sigui per calefacció, ACS, refrigeració, vapor, etc. Un cop conegut aquest valor, es pot estudiar la màquina de trigeneració adequada per cobrir la demanda energètica.

A la figura 72 s'observa les necessitats de calor i fred al llarg de l'any, diferenciades entre calefacció i vapor, ACS i refrigeració. En la refrigeració s'han multiplicat els valors de consums elèctrics dels compressors dels chillers pel seu COP, obtenint la necessitat tèrmica en refrigeració que ens trobarem realment al substituir els chillers per màquines d'absorció.

També cal dir que a l'hora de dimensionar les màquines d'absorció també tenen un COP determinat (inferior a 1), per tant necessiten més de 1kW d'aigua calenta per generar 1kW d'aigua freda.

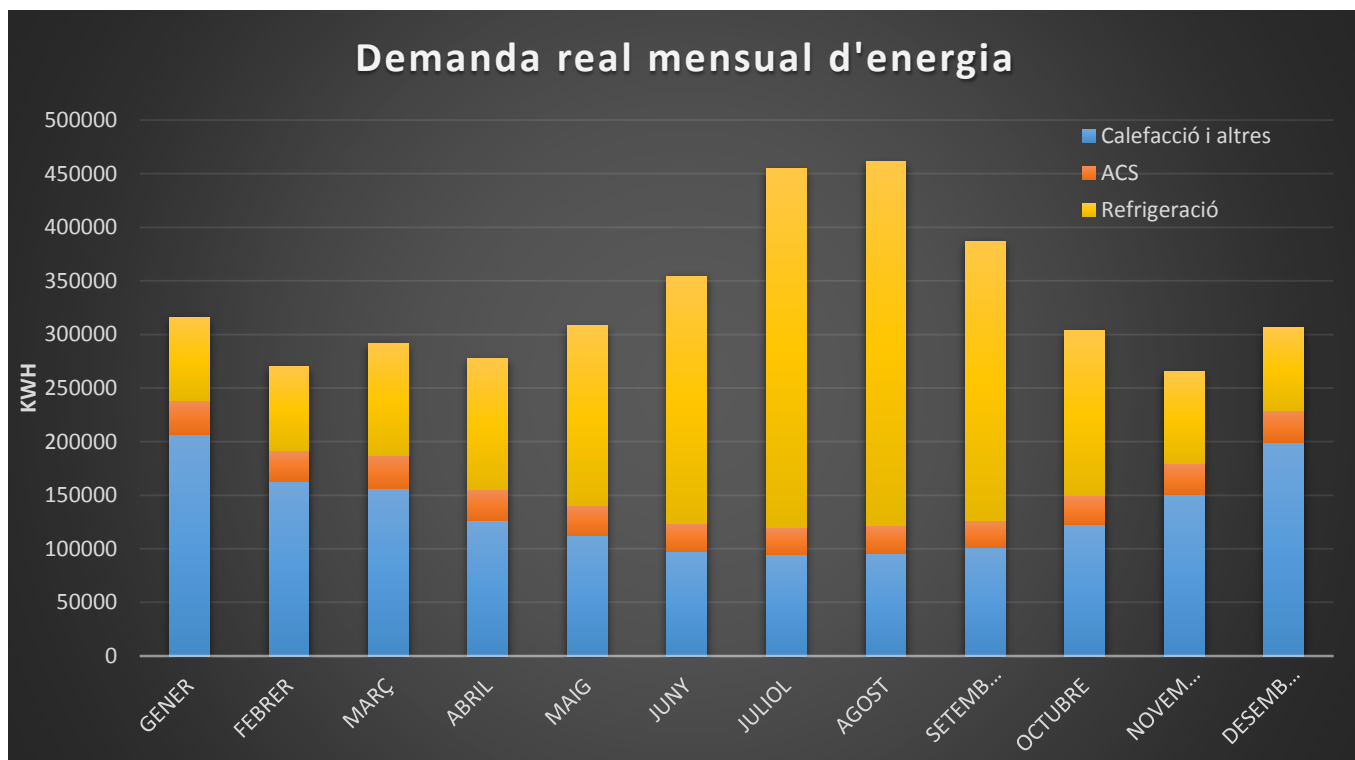


Figura 72. Necessitats energètiques mensuals

El resum de demandes tèrmiques mensuals de tot l'hospital es mostren a la taula 32, observant l'increment de demanda per refrigeració al tenir un COP=4 en els compressors dels chillers.

MES	Calefacció i altres (kWh)	ACS (kWh)	Electricitat chillers (kWh)	Refrigeració (kWh)	Demanda tèrmica total (kWh)
GENER	206706,63	31589,62	19493,50	77974,00	316270,25
FEBRER	162707,91	28740,24	19617,67	78470,66	269918,82
MARÇ	155897,47	31489,79	26062,64	104250,55	291637,81
ABRIL	126325,38	28899,24	30475,55	121902,22	277126,84
MAIG	112355,15	28355,52	41774,17	167096,66	307807,33
JUNY	97531,11	25968,79	57789,44	231157,77	354657,67
JULIOL	94269,44	25461,00	83750,00	334999,99	454730,43
AGOST	95880,83	25557,03	84968,05	339872,21	461310,08
SETEMBRE	101288,61	25101,74	65189,72	260758,88	387149,23
OCTUBRE	122331,66	27328,09	38518,61	154074,44	303734,19
NOVEMBRE	151212,81	28133,65	21454,47	85817,89	265164,35
DESEMBRE	198932,13	30431,22	19208,22	76832,89	306196,24
<b>TOTAL</b>	<b>1625439,14</b>	<b>337055,92</b>	<b>508302,04</b>	<b>2033208,17</b>	<b>3995703,23</b>

Taula 32. Demandes tèrmiques mensuals

#### 4.3.2.1.1. Unitat de generació d'electricitat i energia tèrmica

Observant tots els dies de l'any simulats en referència a les necessitats tèrmiques, es pot extreure que la major potència horària que necessita l'hospital per cobrir la demanda tèrmica és de 1150,014 kW.

Conseqüentment, la màquina o sistema de trigeneració escollit serà el que millor s'adapti a la corba de necessitats tèrmiques de l'hospital, aconseguint un abastiment el més alt possible. També cal recordar que la tecnologia ha de complir la normativa de tecnologia d'alta eficiència amb un REE determinat.

Consultant diferents catàlegs de fabricants i estudiant les característiques tècniques dels diferents equips, s'ha optat per una unitat generadora d'electricitat i escalfament d'aigua **Infinity Turbine 50 ORC**, que funciona amb un cicle orgànic de Rankine.

Aquesta unitat anirà acompanyada d'una caldera de biomassa de producció de vapor saturat o oli tèrmic que serà l'encarregada de subministrar la potència tèrmica al cicle orgànic mitjançant un intercanviador de calor (evaporador). Un cop descomprimit el fluid tèrmic en la turbina, cedeix part de l'energia per la producció d'electricitat i l'altra part es fa passar per un condensador per l'escalfament d'aigua de calefacció, ACS, etc.



A la taula 33 es mostren les principals característiques de la unitat ORC:

Característiques	Infinity Turbine 50 ORC
Temp. fluid caldera in (°C)	140
Temp. Fluid caldera out (°C)	120
Potència in (kW <sub>T</sub> )	550
Potència out (kW <sub>T</sub> )	401,5
Cabal fluid evaporador ((l/min)*kW <sub>e</sub> )	11
Cabal fluid condensador ((l/min)*kW <sub>e</sub> )	32
Temperatura aigua refrigeració in/out (°C)	65/80
Electricitat produïda (kW <sub>E</sub> )	55
Rendiment elèctric (%)	10

Taula 33. Característiques tècniques unitat ORC

Necessita **550 kW<sub>T</sub>** per treballar al màxim, podent treballar a un 40% de càrrega parcial. Per proporcionar els kW a l'entrada de la unitat es necessita una caldera que proporcioni una temperatura al fluid de 140°C i amb un cabal màssic màxim de 11 litres per minut per kW<sub>e</sub>.

El fluid ORC serà bescanviat amb l'aigua a 140°C provinent de la caldera, fent-li descendir la temperatura en 20°C i fent que el fluid ORC es vaporitzi. Al condensador de la unitat es bescanviarà el fluid tèrmic que surt de la turbina ORC amb aigua, fins a escalfar-la a 80°C, amb un cabal màssic màxim de 32 litres per minut per kW<sub>e</sub>. Gràcies a l'alt rendiment tèrmic de la unitat ORC es destinen un màxim de **401,5 kW<sub>T</sub> per escalfament d'aigua**.

També es coneix la part elèctrica generada per la unitat. Es **generen 55 kW<sub>E</sub> nets** amb un rendiment elèctric del 10%. El generador genera corrent alterna trifàsica a 400V i 50Hz.

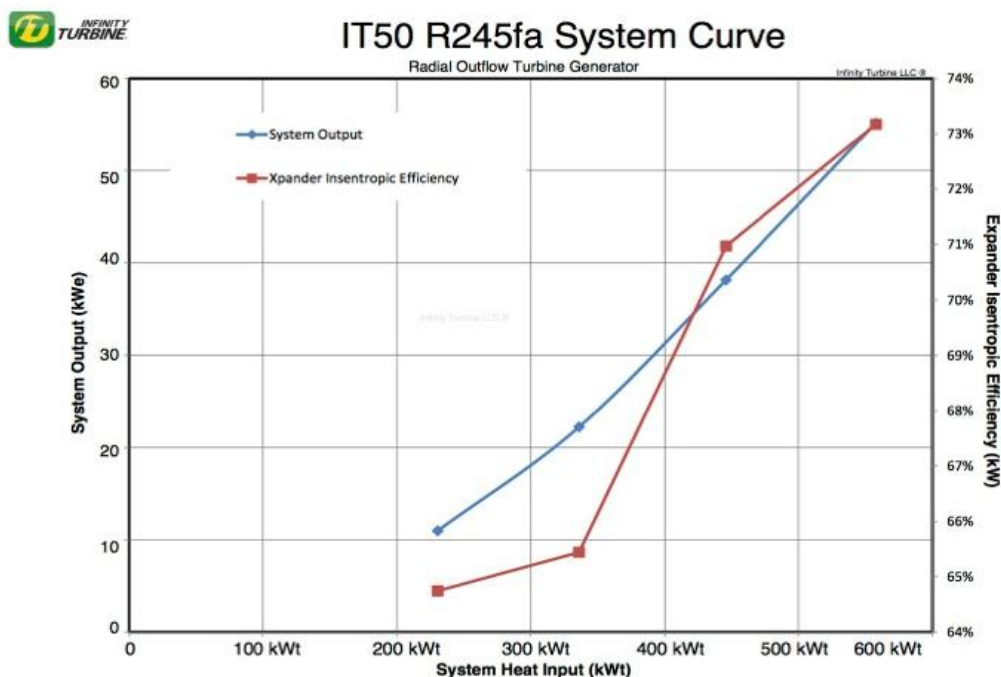


Figura 73. Corba de funcionament de la unitat ORC (extret del catàleg)

A la figura 74 es mostra el cicle termodinàmic i els components d'una unitat ORC amb regenerador i escalfament amb oli tèrmic (en el cas estudiat es fa servir aigua calenta en lloc d'oli, però el cicle és el mateix).

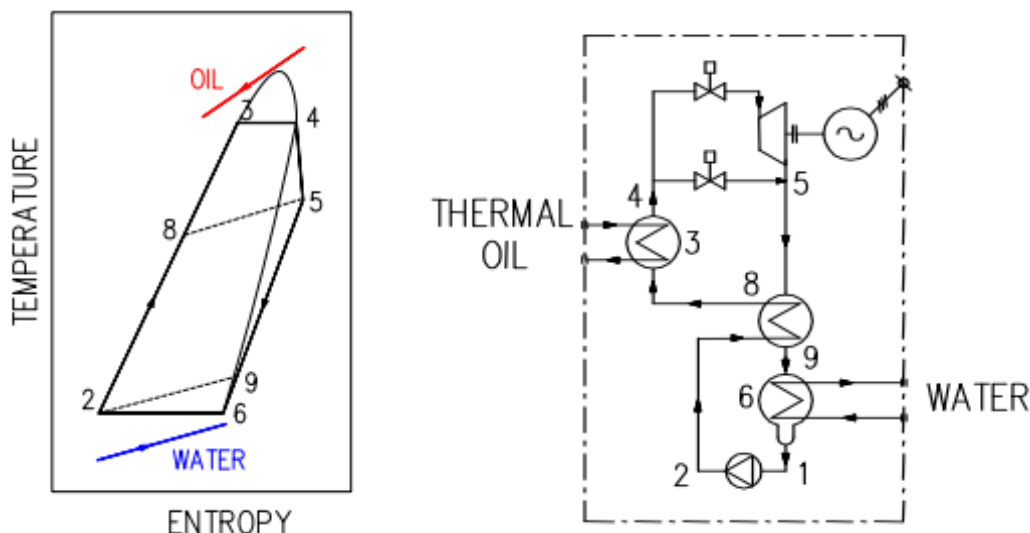


Figura 74. Diagrama T-s i esquema de components ORC amb regenerador

El turbogenerador utilitza aigua calenta per preescalfar i vaporitzar un fluid de treball orgànic adequat en l'evaporador (8-3-4). Els poders de vapor dels líquids orgànics de la turbina (4-5), accionen directament el generador elèctric a través de l'acoblament flexible. El vapor d'escapament flueix a través del regenerador (5-9) on s'escalfa el líquid orgànic (2-8). Finalment, el vapor es condensa en un condensador refredat per aigua (9-6-1).

El líquid fluid orgànic es bomba de (1-2) al regenerador i després a l'evaporador, completant així la seqüència d'operacions al circuit tancat.

En comparació amb altres tecnologies com turbines de vapor, les principals avantatges de la tecnologia ORC són els següents:

- Alta eficiència de cicle (especialment si s'utilitzen en plantes de cogeneració)
- Alta eficiència de la turbina (més del 85%)
- Tensió mecànica baixa a la turbina, gràcies a la velocitat perifèrica baixa
- Baixes RPM de la turbina que permet la transmissió directa del generador elèctric sense reductor
- No hi ha erosió dels àleps de turbina, gràcies a l'absència d'humitat en els filtres de vapor
- Vida útil molt llarga de la màquina a causa de les característiques del fluid de treball que, a diferència de vapor, és no erosiva i no hi ha corrosió als seients de les vàlvules, tubs i turbina de pales
- No és necessari cap sistema de tractament d'aigua

#### 4.3.2.1.2. Caldera

Pel que respecta a la caldera, s'ha optat per dos unitats del Grupo Nova Energía, models EOS 45 i EOS 15, que generen una potència nominal de **523 kW<sub>T</sub>** i **93 kW<sub>T</sub>**. Els models són calderes d'acer i revestiment refractari per a la producció d'aigua calenta o vapor fins a 12 bar i temperatures de fins a 140 °C (figures 75 i 76).

La geometria de les calderes és de 4 passos de fums per augmentar al màxim els temps de permanència dels fums en l'interior de la caldera i així arribar a la màxima eficiència amb les mínimes emissions. El revestiment refractari és de gran espessor, facilitant l'asseccament del combustible i l'homogeneïtzació del flux de gasos d'entrada a l'intercanviador.

La cambra de postcombustió és molt àmplia, reduint les emissions a l'atmosfera i facilitant la decantació de les partícules a l'interior de la cambra. També disposa d'un software senzill, permetent la gestió global del procés de combustió.

La construcció modular permet mantenir la cambra de combustió i substituir l'intercanviador de calor superior segons la necessitat (aigua calenta a 95°C, vapor a 140°C).



Figura 76. Caldera de biomassa EOS Grupo Nova Energia (font [31])

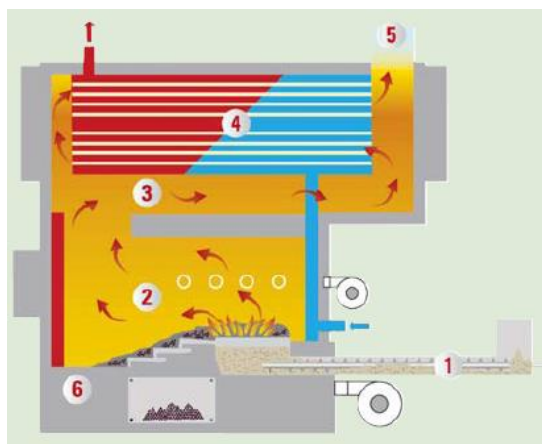


Figura 75. Part interior de la caldera. 1. Vis sens fi d'alimentació; 2. Cambra de combustió; 3. Cambra postcombustió; 4. Intercanviador de calor; 5. Sortida fums; 6. Extracció cendres (font [31])

Taula de característiques tècniques calderes:

Característiques	EOS 45	EOS 15
Temperatura sortida fluid (°C)	140	140
Temperatura mínima retorn fluid (°C)	90	90
Potència tèrmica (kW)	523	93
Humitat màxima biomassa (%)	75	75
Pressió màxima (bar)	12	12

Taula 34. Dades tècniques caldera

A partir de les dades del catàleg i sabent que aquests models de caldera poden treballar a càrregues parcials de fins al 50%, s'ha elaborat la figura 77. El rendiment de les calderes disminueix linealment segons la càrrega parcial.

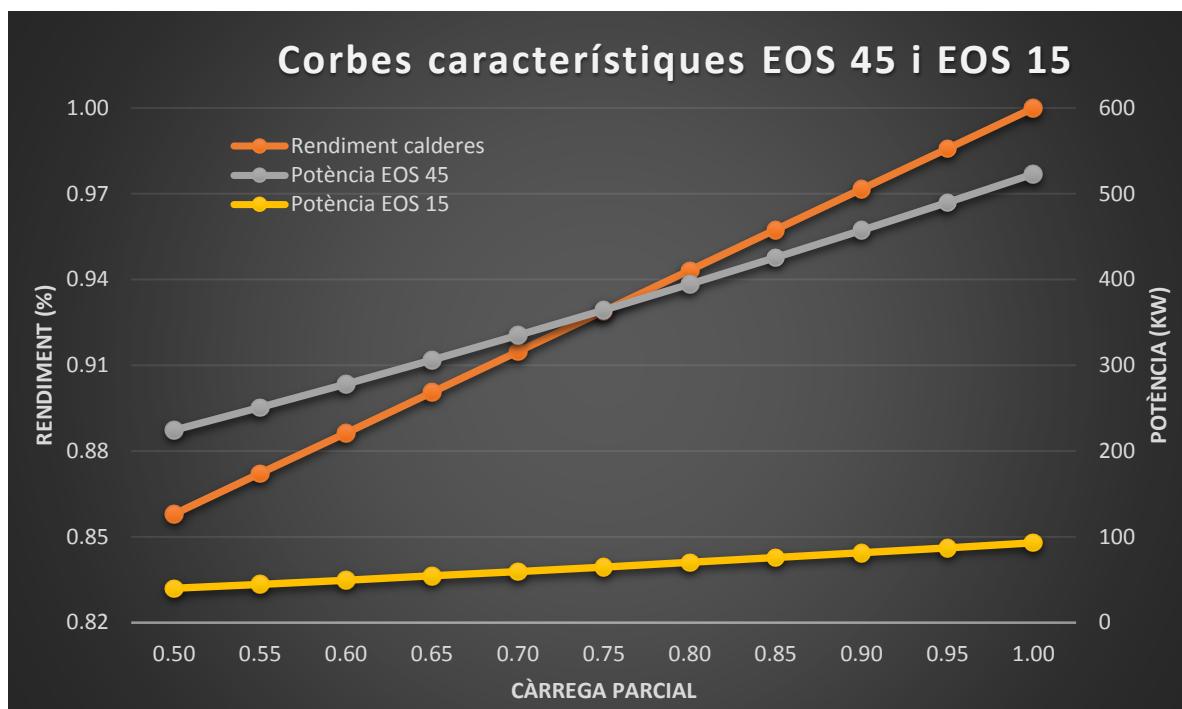


Figura 77. Corbes característiques calderes biomassa

A la figura 78 es mostren les diferents part del sistema d'alimentació i extracció de cendres de les calderes. Es poden diferenciar les següents parts:

1. Dipòsit d'emmagatzematge de la biomassa
2. Vis sens fi d'alimentació
3. Cremador Fuocomatic per combustibles humits
4. Caldera
5. Sistema d'extracció de cendres
6. Multicicló
7. Aspirador de fums
8. Xemeneia

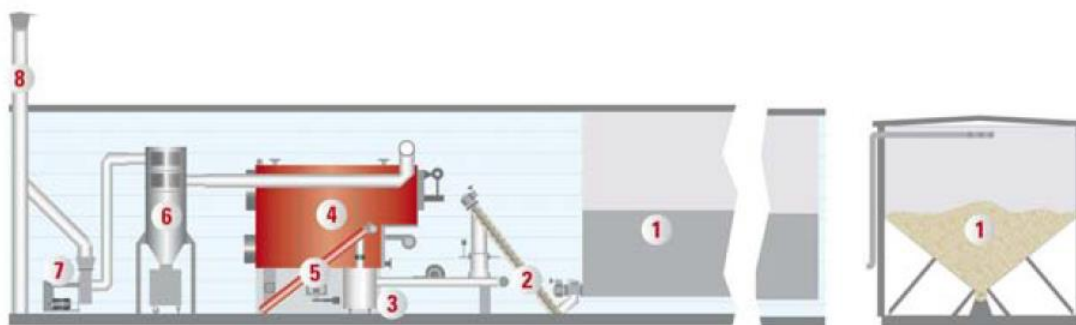


Figura 78. Sistema d'alimentació i extracció de cendres amb biomassa homogènia (font [31])

A partir dels **401.5 kW<sub>T</sub>** que surten del condensador ORC, s'han de repartir per satisfer les demandes de calor per calefacció durant l'hivern, refrigeració durant l'estiu i ACS i vapor durant tot l'any. Es prioritzarà el destí de l'energia en els sistemes d'aigua calenta per així prescindir de cremadors de gas auxiliars i el sobrant destinar-ho a la producció de fred.

### HORES DE FUNCIONAMENT DE LES CALDERES

Per calcular les hores de treball de les calderes ens hem de basar en les demandes horàries dels dies tipus de cada mes, intentant cobrir la demanda tèrmica horària. Per això s'han de tenir en compte els següents criteris:

- Intentar que els equips treballin el màxim d'hores possibles per rentabilitzar la instal·lació
- Realitzar el manteniment durant les parades previstes i així evitar parar els motors expressament
- Treballar a plena càrrega les unitats per mantenir funcionant la instal·lació a rendiment màxim.

Tenint clares les idees descrites anteriorment, s'ha establert el règim de funcionament de la taula 35:

MES	Número de dies mensuals	Hores de funcionament simultani dia tipus	Hores de funcionament totals mensuals
GENER	31	18	1116
FEBRER	28	16	896
MARÇ	31	14	868
ABRIL	30	13	780
MAIG	31	14	868
JUNY	30	20	1200
JULIOL	31	24	1488
AGOST	31	24	1488
SETEMBRE	30	24	1440
OCTUBRE	31	23	1426
NOVEMBRE	30	18	1080
DESEMBRE	31	17	1054
<b>TOTAL</b>	<b>365</b>	<b>225</b>	<b>13704</b>

Taula 35. Hores de funcionament calderes

El nombre d'hores totals a l'any en que els equips funcionaran simultàniament serà de 13704 hores, equivalent a una disponibilitat de la instal·lació del 78,22%. El mesos de l'any amb menys hores de funcionament s'aprofitarà per fer el manteniment anual de les unitats (mesos de març i maig).

$$\text{Disponibilitat} = \frac{\text{hores funcionament}}{\text{hores any}} = \frac{13704}{8760 \cdot 2} \cdot 100 = 78,22\%$$

### CONSUM BIOMASSA CALDERES

Segons informació del fabricant les dues calderes de biomassa consumeixen a plena càrrega 150 kg/h i 27 kg/h de pellets, amb un total de 177 kg/h funcionant les dos a plena càrrega. Aquest consum varia en funció de la càrrega parcial a què estigui sotmesa la màquina, a continuació es mostra la taula 36, de consums segons la potència total de les calderes.

Potència total calderes (kW)	Consum biomassa (kg/h)	Potència combustible (kW)
224,35	75	266,04
250,88	82,5	292,64
278,14	90	319,24
306,15	97,5	345,85
334,90	105	372,45
364,39	112,5	399,05
394,63	120	425,66
425,61	127,5	452,26
457,33	135	478,87
489,79	142,5	505,47
523,00	150	532,07
562,89	163,5	579,96
567,61	164,85	584,75
572,46	166,2	589,54
577,44	167,55	594,32
582,55	168,9	599,11
587,80	170,25	603,90
593,17	171,6	608,69
598,68	172,95	613,48
604,32	174,3	618,27
610,09	175,65	623,06
616,00	177	627,85

Taula 36. Consum de biomassa en les calderes i energia aportada per a cada potència

Es suposa un PCI de la biomassa mig de 3050 kcal/kg, equivalent a 3,547 kWh/kg. Els tipus de biomassa que ronden aquests poders calorífics són closques d'ametlles, avellanes i fruits secs, ossos d'oliva i fruita o residus de fusta de l'agricultura.

#### 4.3.2.1.3. Màquina absorció

De les característiques tècniques del condensador ORC sabem que surten 401,5 kW<sub>T</sub> per l'escalfament d'aigua. La part de ACS és relativament constant durant l'any i es pot cobrir sobradament amb aquesta potència, la calefacció es sap que és més alta en els mesos d'hivern i la calor restant es destina a la refrigeració per absorció. Per tant, la potència destinada al refredament d'aigua serà bastant baixa en comparació amb la demanda total de fred.

S'adopta aquesta estratègia perquè la turbina ORC crea una electricitat determinada per cada potència de la caldera que li entra i la millor manera d'aprofitar-la és destinar-la a la producció de fred mitjançant els compressors existents i així estalviar-nos part de la factura elèctrica.

La taula 37 mostra dels consums mitjans mensuals en demanda de fred:

MES	Demanda mitja refrigeració (kW)
GENER	104,8037605
FEBRER	116,7718221
MARÇ	140,1217105
ABRIL	169,3086372
MAIG	224,5922876
JUNY	321,0524601
JULIOL	450,2688046
AGOST	456,8174902
SETEMBRE	362,1651133
OCTUBRE	207,0893013
NOVEMBRE	119,191509
DESEMBRE	103,2700091
<b>TOTAL</b>	<b>2775,452906</b>

Taula 37. Demanda de fred mitjana mensual

Valorant les demandes horàries en refrigeració s'ha optat per dos màquines d'absorció models **HWAR L-Series** amb unes potències frigorífiques de **141 kW** i **70 kW**. En els mesos d'hivern es tindran determinades hores només treballant la màquina petita i en els mesos més calorosos treballaran les dos màquines al 100% en les hores punta de calor diàries, sempre que es disposi de la calor residual màxima en aquell instant.

Aquestes unitats poden treballar amb una càrrega parcial del 50% al 100%, anant dels 35 kW fins als 211 kW.



En la taula 38 es resumeixen les característiques tècniques de les màquines d'absorció:

Descripció	HWAR L-Series 141	HWAR L-Series 70
Potència frigorífica (kW)	141	70
Temperatura aigua refredada entrada/sortida (°C)	12/7	12/7
Cabal aigua refredada (m³/h)	24,2	12
Temperatura aigua refrigeració entrada/sortida (°C)	31/36,5	29/34
Cabal aigua refrigeració (m³/h)	52,8	28,6
Temperatura aigua calenta entrada/sortida (°C)	80/70	80/70
Cabal aigua calenta (m³/h)	11,2	8,3
Electricitat bombes (kW)	6,8	7,1
Pes màquina (kg)	2500	1800

Taula 38. Dades tècniques màquines absorció

La figura 79 mostra les dos corbes característiques de les màquines d'absorció segons la càrrega parcial.

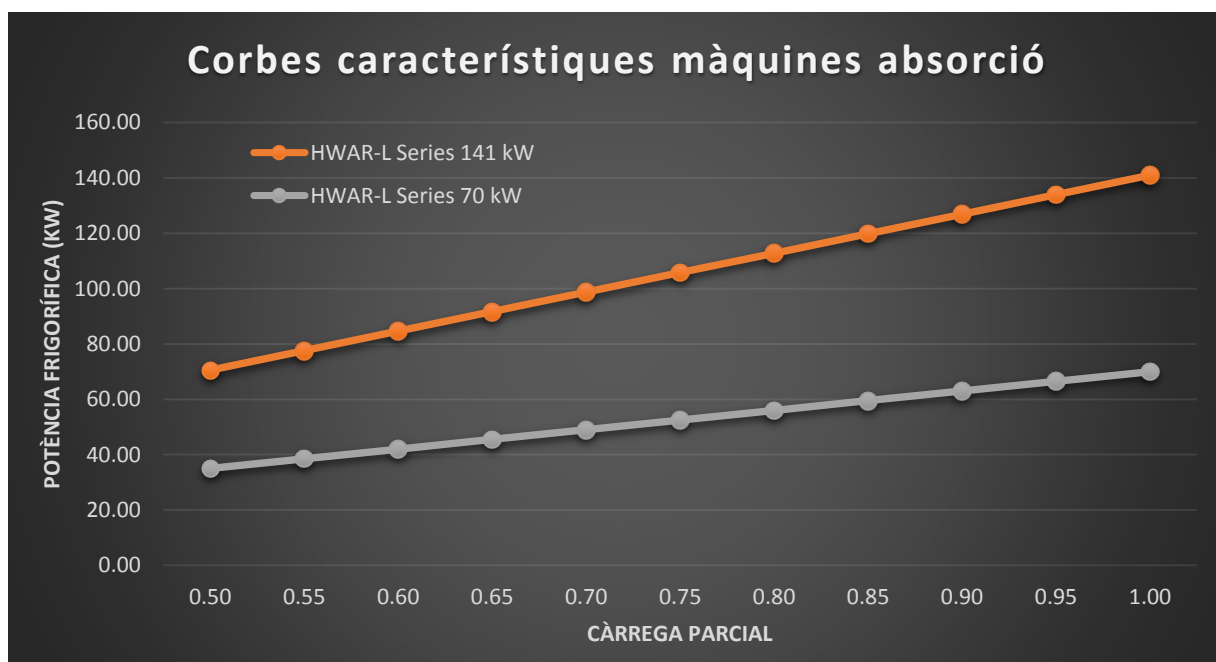


Figura 79. Corbes característiques absorció



#### 4.3.2.1.4. Intercanviador ACS

De la sortida del condensador ORC surt aigua calenta a uns 80°C i ens interessa baixar la temperatura de l'aigua sanitàària fins als 60°C. La solució és posar un intercanviador d'aigua-aigua connectat al circuit principal d'aigua calenta.

De les dades de demanda horària anual es treu un valor màxim de 110 kW de demanada d'aigua calenta sanitàària. Buscant en diferents catàlegs s'ha trobat un intercanviador de la marca Vitotrans de 120 kW de potència màxima d'intercanvi amb les dades tècniques de la taula 39:

Descripció	Vitotrans 222
Potència intercambiable (kW)	120
Temperatura aigua calenta circuit principal entrada/sortida (°C)	80/40
Temperatura aigua fred circuit secundari entrada i sortida (°C)	10/60
Capacitat d'aigua calenta i ACS (l)	2,3
Pes (kg)	27
Pressió màxima (bar)	10

Taula 39. Dades tècniques intercanviador ACS

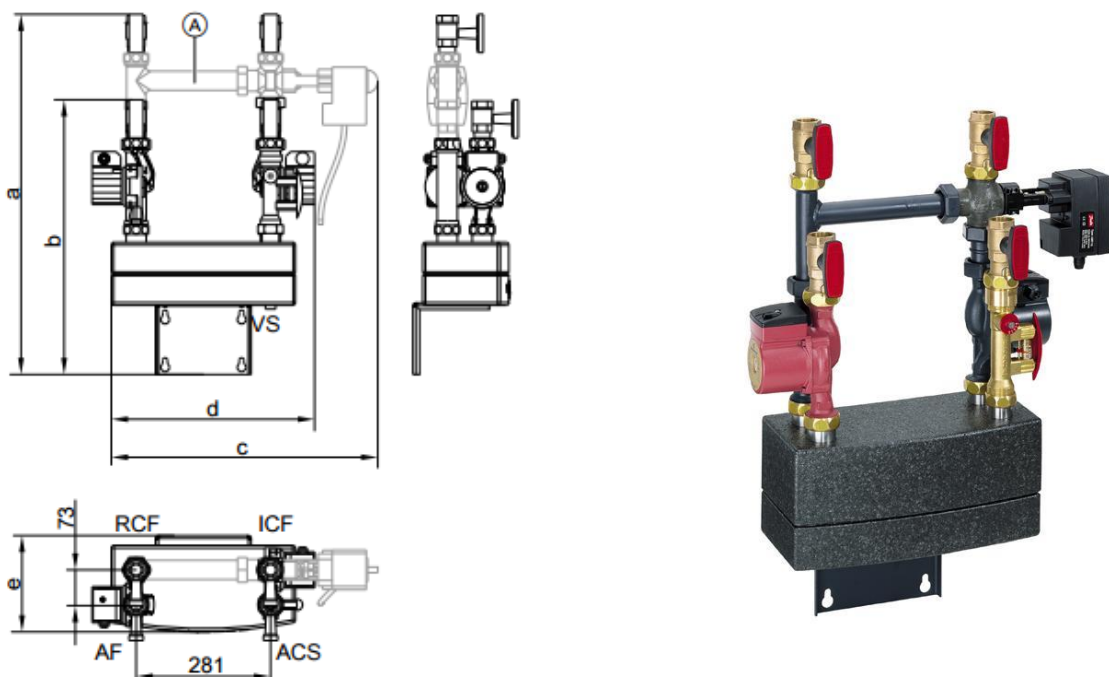


Figura 80. Vistes intercanviador (font [39])

#### 4.3.2.1.5. Acumulador ACS

Es disposarà d'un acumulador d'ACS de la marca Vitocell amb una capacitat de 1000 litres amb les característiques de la taula 40:

Descripció	Vitocell 100-L
Capacitat acumulador (l)	1000
Temperatura màxima (°C)	95
Pes acumulador (kg)	312
Longitud "a"(mm)	1060
Amplada "b"(mm)	1153
Alçada "c" (mm)	2160
Altura mínim muntatge (mm)	2250

Taula 40. Dades tècniques acumulador

El material del dipòsit d'acumulació és d'acer resistent a la corrosió amb esmaltat de dos capes Ceraprotect. També disposa de protecció catòdica addicional mitjançant ànode de magnesi.

La potència de transmissió desitjada per a l'intercanviador de calor s'ajusta mitjançant una vàlvula reguladora de ramal. El dispositiu de mescles, mescla l'aigua calenta amb un valor establert de producció d'ACS de 60°C, evitant la calcificació en l'intercanviador.

La figura 81 mostra les característiques físiques de l'acumulador:

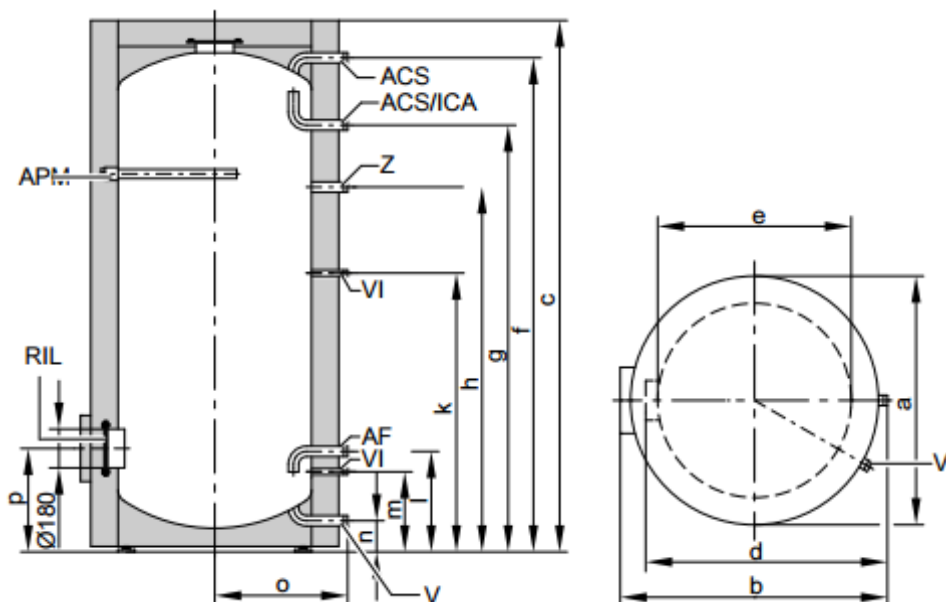


Figura 81. Dimensions de l'acumulador (font [39])

#### 4.3.2.1.6. Bombes hidràuliques

Les bombes d'impulsió dels diferents fluids s'han de situar en punts clau on es requereixi de pressió d'impulsió. Els punts principals són una bomba per impulsar l'aigua de retorn de les calderes que ha passat per l'evaporador ORC, la bomba que fa circular el fluid orgànic en la unitat ORC, la bomba que mou l'aigua calenta de calefacció i ACS un cop intercanviada amb el condensador ORC i bombes auxiliars per la torre de refrigeració i sistemes secundaris.

#### 4.3.2.1.7. Torres de refrigeració

Les torres de refrigeració són uns elements molt importants pel correcte funcionament del sistema. El seu objectiu és eliminar la calor que genera la màquina d'absorció al refredar el fluid. Del sistema actual es tenen 2 torres de refrigeració pels chillers, el qual es conservaran per fer-ne ús en els pics de demanda en la temporada estival. Aquests aparells només estan dimensionats per refrigerar l'aigua dels chillers i per tant, en el sistema d'absorció es requerirà d'una torre per cada màquina.

Dit això, s'opta per instal·lar dos torres de refrigeració de la marca **Teva Decsa TVC** amb les característiques de la taula 41:

Descripció	TVC 235	TVC 016
Potència a dissipar (kW)	350	165
Cabal d'aire (m <sup>3</sup> /h)	6,75	3,15
Número de ventiladors	1x1	1x1
Potència motors elèctrics (kW)	1.1	3
Pes ple/buit (kg)	795/365	1630/750
Temperatura sortida aigua (°C)	30-35	30-35

Taula 41. Dades tècniques torres de refrigeració

La calor que han de poder evacuar el sistema de torres de refrigeració s'estima en 2.5 vegades més gran que la potència frigorífica obtinguda en l'evaporador de la màquina d'absorció.

#### 4.3.2.2. DEMANDA ELÈCTRICA

En aquest punt es mira l'abast del sistema de generació d'electricitat mitjançant una turbina ORC. En principi l'objectiu és només cobrir les necessitats elèctriques extra dels compressors o màquines elèctriques auxiliars amb consums elèctrics baixos. El sobrant elèctric horari es destinarà a la maquinària elèctrica de l'hospital, reduint així la factura final anual.

Mirant el gràfic de la figura 82 es veu que el consum elèctric mensual està entre 400000 i 500000 kWh aproximadament i la cobertura oscil·la entre 43000 kWh el mes de febrer i més de 85000 kWh el mes d'agost. Com més hores de treball a plena càrrega de la unitat ORC, més electricitat mensual creada.

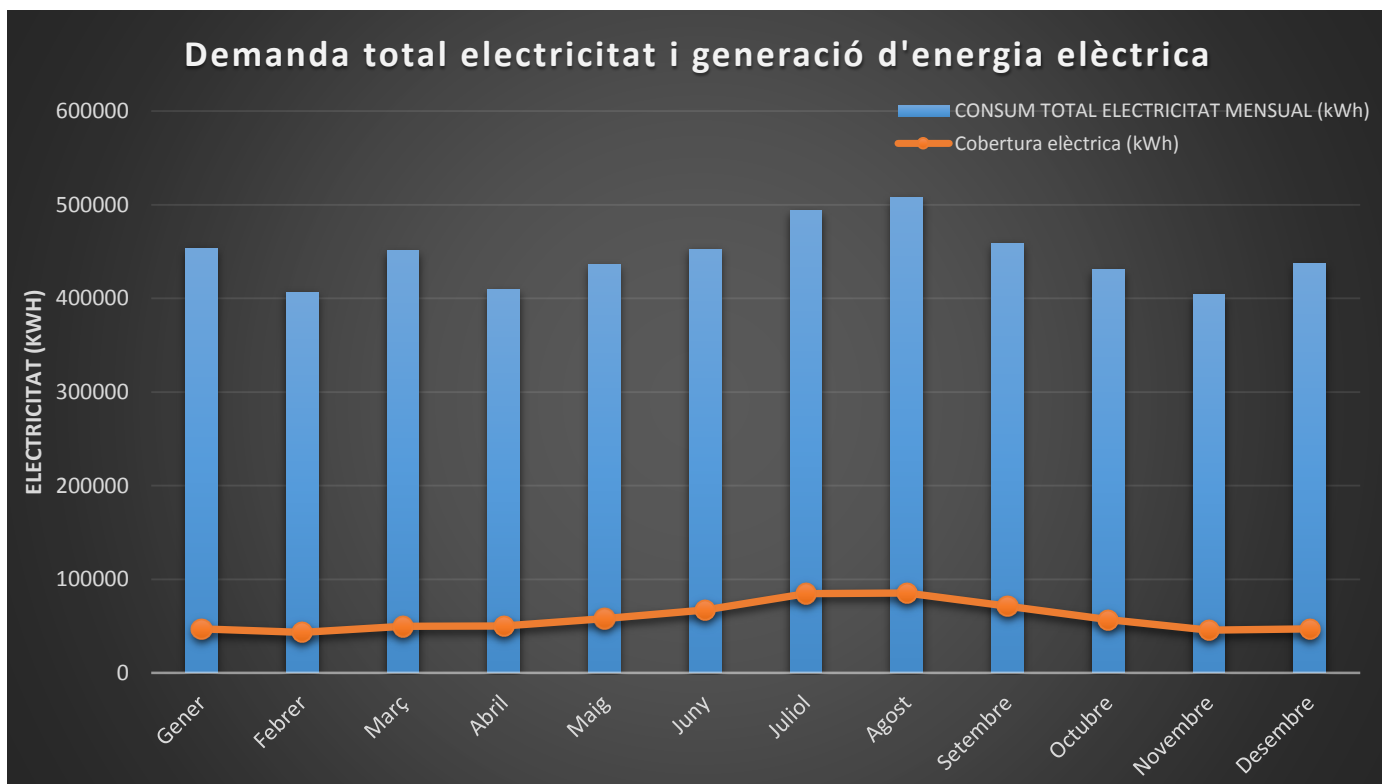


Figura 82. Cobertura elèctrica mensual

#### 4.3.2.3. SISTEMES DE CONTROL DE LA PLANTA DE TRIGENERACIÓ

En la planta projectada, l'estratègia a seguir de la unitat de control és la de prioritzar la producció d'energia calorífica. Durant el dia i al llarg de l'any, la demanda de potència calorífica va variant notablement i per tant també té que variar la producció d'energia tèrmica per escalfament d'aigua.

Al seguir la demanda calorífica, la producció elèctrica no s'adaptarà a la demanda d'electricitat del sistema i els equips generadors només podran entregar la potència elèctrica que disposin en aquell instant, ja sigui en excés o per falta d'aquesta. L'estratègia adoptada és la de fer servir l'energia elèctrica sobrant en cada moment i destinar-la principalment a satisfer les necessitats de fred on no poden arribar les màquines d'absorció. En el cas de què inclús així sobri electricitat, aquesta es destinarà a altres equips que requereixen de subministrament elèctric en tot el sistema (ventiladors, bombes, il·luminació, etc).

##### 4.3.2.3.1. Variables de control

S'han de controlar les següents variables principals per una correcta estratègia de control:

- Pressió d'aigua o vapor de les calderes
- Temperatura de l'aigua calenta que es requereix en cada moment
- Cabals d'aigua calenta de la instal·lació en cada moment
- Subministrament de biomassa a la caldera

Controlant aquestes variables es pot subministrar en cada moment la demanda d'energia necessària per a que la instal·lació funcioni correctament. Per exemple, quan la demanda tèrmica superi el màxim de la caldera principal, automàticament s'ha d'engegar la segona caldera amb la càrrega parcial necessària per cobrir les necessitats instantànies.

Altres variables a controlar:

- Temperatura de l'aigua

Es controlarà la temperatura de l'aigua en els diferents punts de la instal·lació per assegurar el correcte funcionament d'aquesta i facilitar la detecció de problemes de funcionament.

El control es farà amb termoparells situats als següents punts:

- 1) Entrada i sortida d'aigua de les calderes
- 2) Entrada i sortida dels intercanviadors de calor de la unitat ORC
- 3) Entrada i sortida de les torres de refrigeració
- 4) Entrada i sortida de les màquines d'absorció
- 5) Entrada i sortida dels equips de refrigeració auxiliars
- 6) Entrada i sortida de l'acumulador d'ACS

#### 4.3.2.4. RENDIMENT ELÈCTRIC EQUIVALENT MENSUAL (REE)

Com s'ha dit anteriorment, el REE es calcula segons l'expressió:

$$REE = \frac{E}{F - \frac{H}{0,9}}$$

On E=electricitat generada, F=consum de combustible i H=calor útil.

En la taula 42 es mostren els valors mensuals d'aquestes 3 variables durant tot l'any.

MES	Electricitat generada (kWe)	Energia combustible (kWt)	Calor útil (kWt)	REE
GENER	40324	428999,42	296127,3	0,4034
FEBRER	35943	385545,05	265381,38	0,3964
MARÇ	39307	425237,66	291729,14	0,3888
ABRIL	37573	408328,40	280171,03	0,3872
MAIG	39563	425365,36	292779,11	0,3954
JUNY	39208	415931,71	287369,07	0,4057
JULIOL	40852	431489,51	298440,77	0,4090
AGOST	40916	431489,51	298699,81	0,4108
SETEMBRE	39418	417112,92	288309,96	0,4073
OCTUBRE	39805	427483,01	293916,43	0,3945
NOVEMBRE	37839	409403,19	281340,96	0,3909
DESEMBRE	40194	429116,47	295608,96	0,3993
<b>TOTAL</b>	<b>470942</b>	<b>5035502,22</b>	<b>3469873,92</b>	<b>0,3991</b>

Taula 42. Variables mensuals pel càlcul del REE

El límit marcat per la llei demana un mínim de REE=0,39. En la instal·lació estudiada s'arriba a un REE anual del **39,91%**, complint per tant la normativa establerta.

#### 4.3.2.5. RENDIMENT GLOBAL INSTAL·LACIÓ

El rendiment global de la instal·lació ens donarà una idea de l'aprofitament energètic global de la instal·lació. Lògicament els mesos on els equips treballin més hores i amb més càrrega parcial, els rendiment seran superiors.

El rendiment global es calcula mitjançant la següent expressió:

$$Rend. Global = \frac{E + H}{F}$$

On E=electricitat generada, H=calor útil i F=consum de combustible.

Fent els càlculs mensuals ens resulta la taula 43, extraient un rendiment global anual del **76,88%**. En aquest rendiment influeix el consum de combustible, per tant com més demanda energètica a les calderes, més consum de combustible, però al mateix temps es produeix més quantitat d'energia elèctrica, però si hi ha més consum de combustible el REE disminueix, fent que no es compleixi el REE mínim requerit per al règim especial. Per tant, la complexitat del problema general és considerable i fer quadrar totes aquestes variables té la seva dificultat.

MES	Rendiment global
GENER	0,6642
FEBRER	0,7758
MARÇ	0,7718
ABRIL	0,7713
MAIG	0,7765
JUNY	0,7826
JULIOL	0,7857
AGOST	0,7871
SETEMBRE	0,7849
OCTUBRE	0,7762
NOVEMBRE	0,7726
DESEMBRE	0,7791
<b>TOTAL</b>	<b>0,7688</b>

Taula 43. Rendiments globals mensuals

### 4.3.3. Càlculs de les variables dels equips

#### 4.3.3.1. Circuit de la caldera

Sabem que els sistemes de calderes poden generar un màxim de 523 kW<sub>T</sub> en la caldera principal i 93 kW<sub>T</sub> en la secundària. El sistema d'absorció de calor provinent de la biomassa es duu a terme a partir de fer circular aigua per un intercanviador de tubs en l'interior de la caldera fins a generar aigua a 140°C. L'aigua retornarà a una temperatura de mínima de 90°C passant prèviament per un preescalfador d'aigua de refrigeració que alimenta el condensador ORC.

Dades inicials calderes:

- Potència tèrmica: 523 i 93 kW
- Temperatura entrada: 90°C
- Temperatura sortida: 120°C
- Cabal màxim d'aigua necessari per les dos calderes:

$$\dot{m}_1 = \frac{Q}{C_{p_{H_2O}} \cdot (T_{out} - T_{in})} = \frac{523}{4,18 \cdot (120 - 90)} = 4,171 \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_2 = \frac{Q}{C_{p_{H_2O}} \cdot (T_{out} - T_{in})} = \frac{93}{4,18 \cdot (120 - 90)} = 0,742 \frac{kg}{s}$$

Equivalents a 15.02 m<sup>3</sup>/h i 2.67 m<sup>3</sup>/h respectivament. Amb els cabals màxims determinats també es poden dimensionar les bombes d'impulsió del fluid.

#### 4.3.3.2. Circuit de la unitat ORC

En la unitat ORC es pot tenir una demanda màxima de potència de 550 kW provinent de les calderes. L'aigua de la caldera arriba comprimida i a una temperatura de 140°C, sortint a 120°C. A partir d'aquí es crea una petita part d'energia elèctrica i una gran part de tèrmica. La temperatura de bescanvi en el condensador de la unitat va de 65°C a 80°C amb una potència màxima de 401,5 kW. Amb aquestes dades es pot calcular el cabal màssic màxim necessari en l'evaporador:

$$\dot{m}_{E,ORC} = \frac{Q}{C_{p_{H_2O}} \cdot (T_{in} - T_{out})} = \frac{550}{4,18 \cdot (140 - 120)} = 6,58 \frac{kg}{s}$$



#### 4.3.3.3. Circuit de la màquina d'absorció

##### 4.3.3.3.1. Generador

Les màquines d'absorció que es faran servir seran de simple efecte i proporcionaran aigua freda pels equips de refrigeració a una temperatura mitja de 7°C, podent oscil·lar lleument. El circuit d'alta temperatura prové de l'aigua escalfada al condensador ORC fins a 80°C. En la sortida de les màquines el fabricant ens diu que la temperatura baixa a 65°C. Per tant es pot calcular el cabal que necessita el generador.

Dades inicials generador:

- Potència màxima al generador: 188 kW i 93,33 kW
- Temperatura entrada aigua: 80°C
- Temperatura sortida aigua: 65°C

$$\dot{m}_{G1} = \frac{Q}{C_{p_{H_2O}} \cdot (T_{in} - T_{out})} = \frac{188}{4,18 \cdot (80 - 65)} = 3 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{G2} = \frac{Q}{C_{p_{H_2O}} \cdot (T_{in} - T_{out})} = \frac{93,33}{4,18 \cdot (80 - 65)} = 1,48 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

##### 4.3.3.3.2. Condensador-absorbidor

La màquina d'absorció necessita un cabal de refrigeració per l'absorbidor i pel condensador. La calor que ha d'evacuar el cabal de la torre de refrigeració s'estima 2,5 vegades la potència de refrigeració obtinguda en l'evaporador de la màquina. El fabricant ens facilita les següents dades:

- Temperatura entrada aigua refrigeració: 31°C/29°C
- Temperatura sortida aigua refrigeració: 36,5°C/34°C
- Potència frigorífica: 141 kW i 70 kW

$$\dot{m}_{C1} = \frac{Q}{C_{p_{H_2O}} \cdot (T_{in} - T_{out})} = \frac{141 \cdot 2,5}{4,18 \cdot (36,5 - 31)} = 15,33 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{C2} = \frac{Q}{C_{p_{H_2O}} \cdot (T_{in} - T_{out})} = \frac{70 \cdot 2,5}{4,18 \cdot (34 - 29)} = 8,37 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

#### 4.3.3.3.3. Evaporador

L'aigua pel sistema de climatització arriba a la màquina d'absorció a uns 12°C i es refreda fins als 7°C. La potència frigorífica obtinguda és de 141 kW i 70 kW en les dos màquines. Sabent totes aquestes dades es pot calcular el cabal d'aigua freda per la climatització com:

$$\dot{m}_{E1} = \frac{Q}{C_{p_{H2O}} \cdot (T_{in} - T_{out})} = \frac{141}{4,18 \cdot (12 - 7)} = 6,75 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{E2} = \frac{Q}{C_{p_{H2O}} \cdot (T_{in} - T_{out})} = \frac{70}{4,18 \cdot (12 - 7)} = 3,35 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

#### 4.3.3.4. Circuit sistema calefacció i ACS

El circuit del sistema de calefacció serà l'aigua calenta obtinguda d'intercanviar aigua preescalfada a 65°C fins a arribar a 80°C gràcies al condensador de la unitat ORC. Ja es sap que en els mesos d'hivern la demanda serà màxima i en els d'estiu es reduirà a demanda de calor per sistemes renta roba, plats,..etc.

En canvi el sistema de ACS, està compost per un intercanviador de calor que facilitarà aigua calenta sanitària a 60°C i un acumulador per guardar l'energia tèrmica sobrant en alguns moments del dia.

L'aigua de retorn dels equips de calefacció i ACS es recull en un col·lector de retorn i s'envia de nou a ser escalfada al condensador ORC, prèviament preescalfada pel retorn d'aigua de la caldera.

Es coneix que la potència tèrmica màxima que pot entregar la unitat ORC és de 401,5 kW dels quals la major part anirà destinada a calefacció i ACS. La temperatura d'entrada i sortida de l'aigua intercanviada és de 65°C i 80°C. Per tant es pot calcular el cabal màxim necessari:

$$\dot{m}_{C,ORC} = \frac{Q}{C_{p_{H2O}} \cdot (T_{in} - T_{out})} = \frac{401,5}{4,18 \cdot (80 - 65)} = 6,40 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

#### 4.3.3.5. Sistemes addicionals

##### 4.3.3.5.1. Intercanviador de calor i acumulador per ACS

La màxima demanda de potència anual d'ACS és de 109,85 kW al mes de gener. L'intercanviador del circuit d'ACS es sobredimensiona un 10% per poder cobrir els possibles pics de demanda. L'intercanviador serà de 120 kW alimentat amb l'aigua calenta provinent del condensador ORC entrant a una temperatura de 80°C i sortint a 40°C mentre que al circuit secundari serà amb temperatures variables durant l'any segons l'època. L'aigua del secundari prové de la xarxa de distribució on a l'estiu entra a una mitja de 12°C i a l'hivern a una mitja de 8°C. L'aigua sortirà del secundari a una temperatura de subministre d'uns 55-60°C. Per tant es pot calcular el cabal en moment de màxim consum:

$$\dot{m}_{ACS} = \frac{Q}{C_{p_{H_2O}} \cdot (T_{in} - T_{out})} = \frac{120}{4,18 \cdot (60 - 8)} = 0,55 \frac{kg}{s}$$

Els acumuladors d'ACS es dimensionen de manera que ens permetin cobrir les demandes mitges d'ACS durant 1 hora 30 min amb l'aigua acumulada. La demanda mitja d'ACS al llarg de l'any és de 37,64 kW i la temperatura mitja de subministre 10°C. Per tant es poden calcular els litres que equivalen d'aigua calenta a 60°C amb 1 hora.

$$\dot{m}_{ACOM} = \frac{Q}{C_{p_{H_2O}} \cdot (T_{in} - T_{out})} = \frac{37,64}{4,18 \cdot (60 - 10)} = 0,18 \frac{kg}{s} = 10,8 l/min$$

$$Capacitat = \dot{m}_{ACOM} \cdot 90 \text{ min} = 10,8 \cdot 90 = 972 \text{ litres} \approx 1000 \text{ litres}$$

Per tant s'instal·larà un acumulador de 1000 litres.

##### 4.3.3.5.2. Equips de refrigeració auxiliars

Al estudiar el funcionament de la instal·lació a l'estiu es veu que l'ús dels equips de refrigeració auxiliars és molt significatiu. La potència frigorífica instal·lada actualment en l'hospital és de 2 refredadors d'una potència de 649,28 kW cadascun, amb una potència total de quasi 1300 kW per refredar l'aigua necessària pels equips refredadors. Aquests refredadors s'aprofitaran i es connectaran amb paral·lel amb els circuits d'aigua freda que proporcionen les màquines d'absorció. Les unitats de refrigeració instal·lades actualment disposen de control de la temperatura de sortida de l'aigua i es poden adaptar a la temperatura de funcionament de les màquines d'absorció.

En el circuit d'aigua freda també s'han d'instal·lar els corresponents dipòsits d'expansió per prevenir sobrepressions.

#### 4.3.3.5.3. Bombes hidràuliques

En tots els circuits on es requereixi d'un moviment en un sentit del fluid s'instal·larà una bomba. A les calderes es necessita un cabal màxim de 4,171 kg/s en la caldera 1 i 0,742 kg/s en la caldera 2, amb un cabal total de 4,913 kg/s.

Per la unitat ORC el fabricant ja incorpora la bomba en la seva unitat per a que treballi a les condicions adequades.

També es farà servir una bomba per moure l'aigua calenta intercanviada a la unitat ORC i alimentar els sistemes de calefacció i ACS. Per la calefacció es necessita un cabal de 6,4 kg/s i per ACS un de 0,55 kg/s.

Finalment a la màquina d'absorció es necessita un cabal màxim de 4,48 kg/s per alimentar al generador, uns 23,7 kg/s en les torres de refrigeració i 10,1 kg/s en l'evaporador.

#### 4.3.3.5.4. Torres de refrigeració

Del sistema actual es tenen 2 torres de refrigeració pels chillers de 595,67 kW cadascuna, amb una potència total de 1191,34 kW.

En el sistema d'absorció que es vol implantar es necessita baixar la temperatura del refrigerant de 36,5 a 31 °C i de 34 a 29 °C en les dos màquines. Els cabals màxims que ens dona el fabricant són de 52,8 i 28,6 m³/h, per tant es pot calcular la potència màxima de les torres.

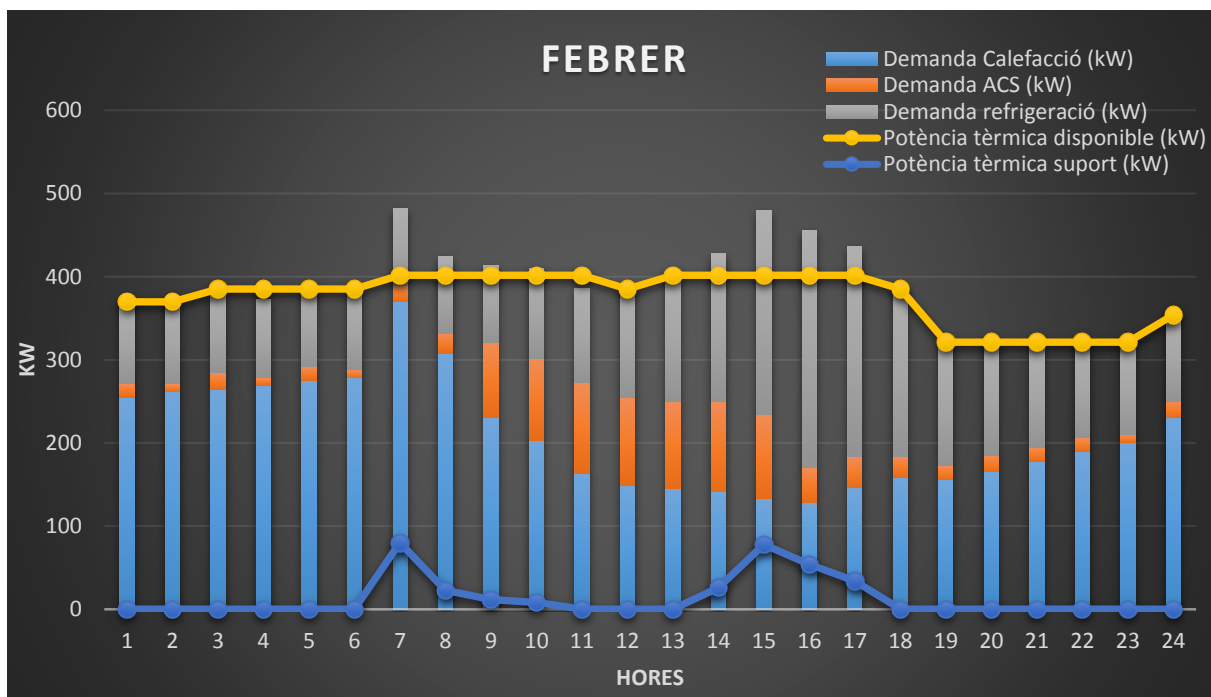
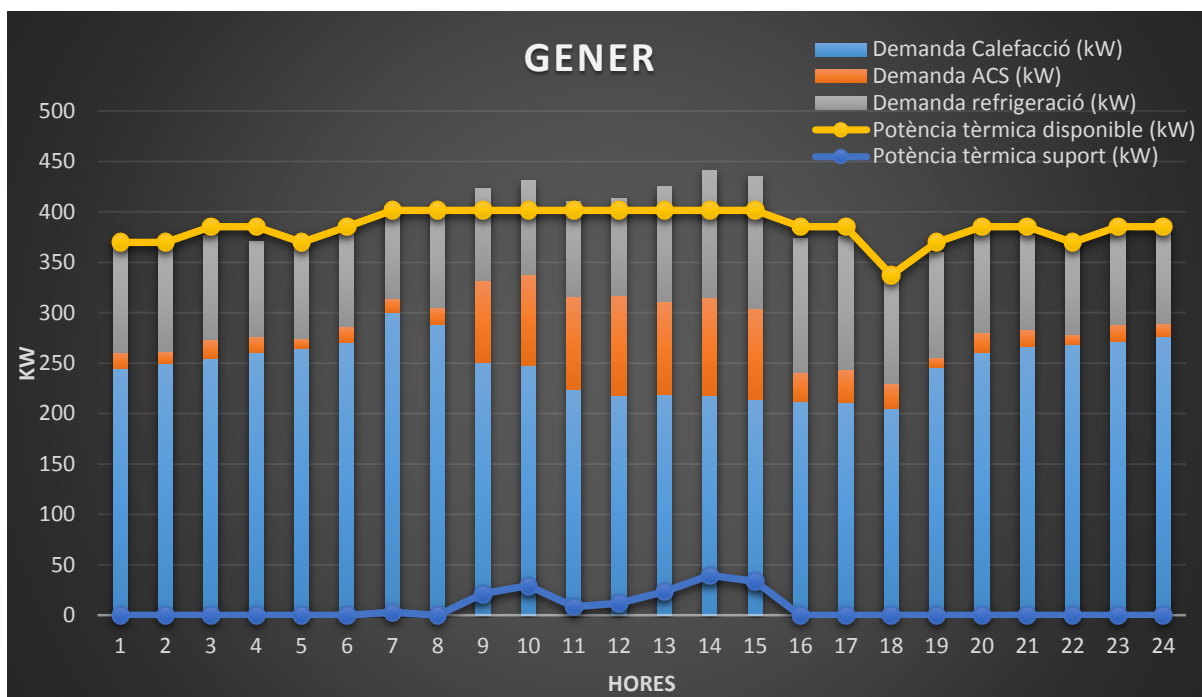
$$Q_1 = \dot{m}_1 \cdot C_{p_{H_2O}} \cdot (T_{in} - T_{out}) = 14,67 \cdot 4,18 \cdot (36,5 - 31) = 344,16 \text{ kW}$$

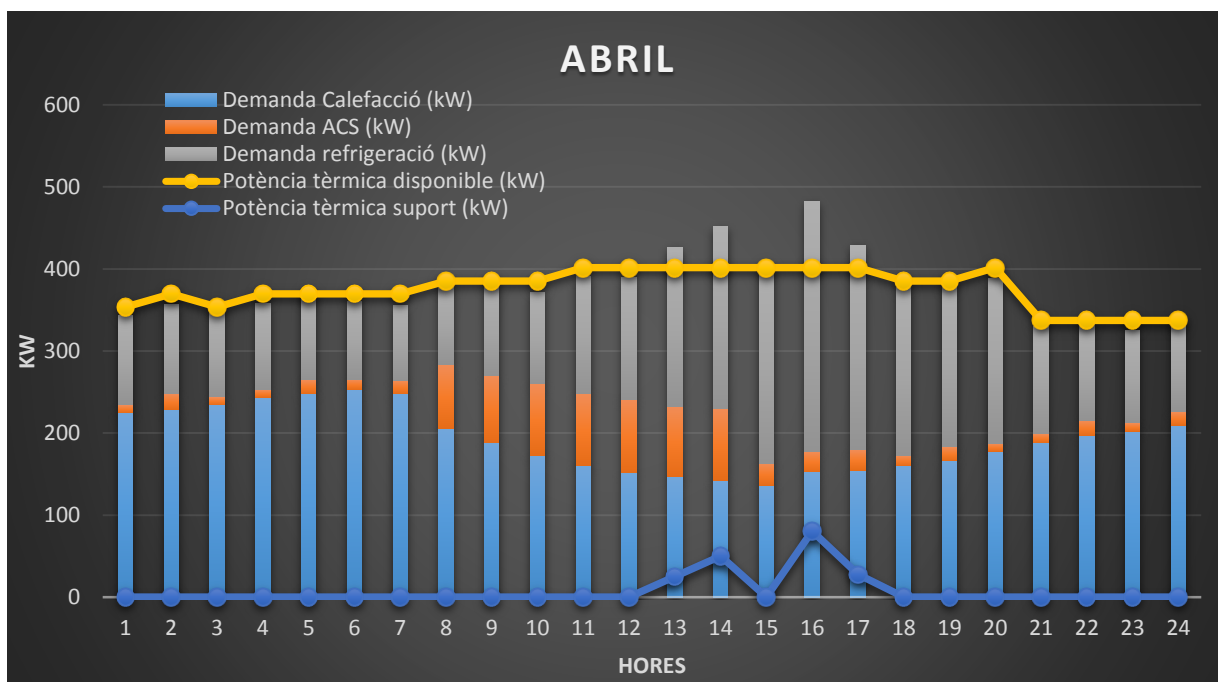
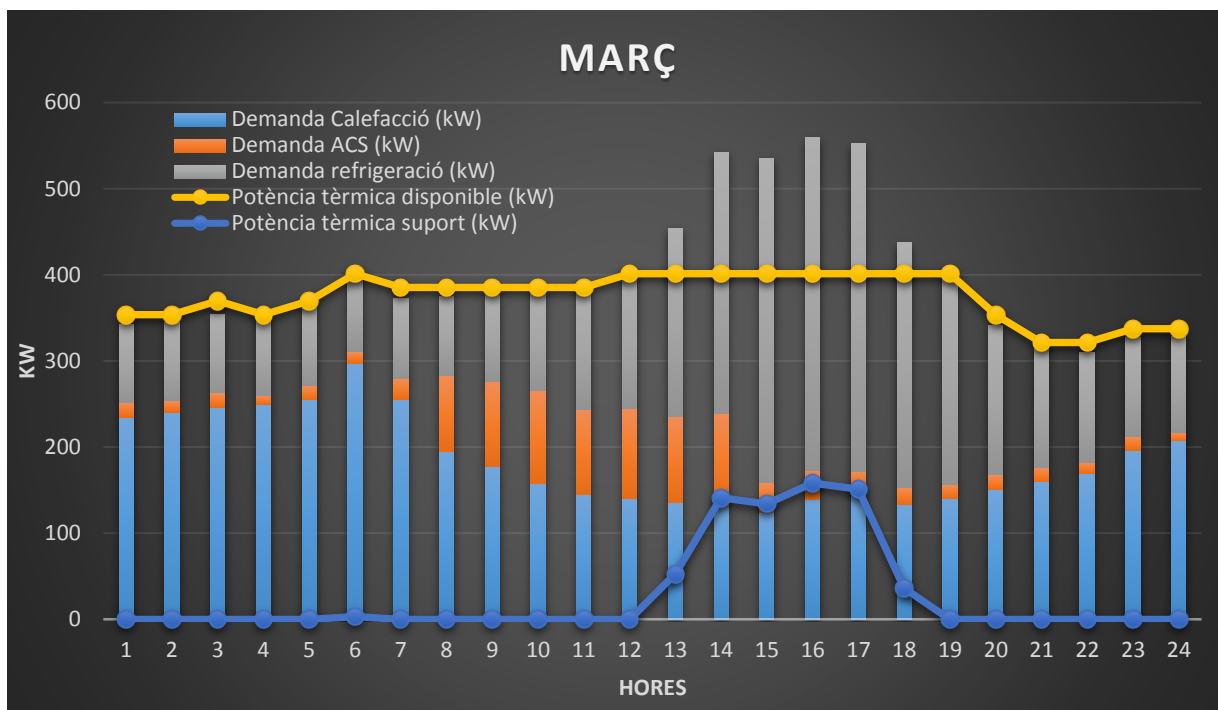
$$Q_2 = \dot{m}_2 \cdot C_{p_{H_2O}} \cdot (T_{in} - T_{out}) = 7,94 \cdot 4,18 \cdot (34 - 29) = 165,95 \text{ kW}$$

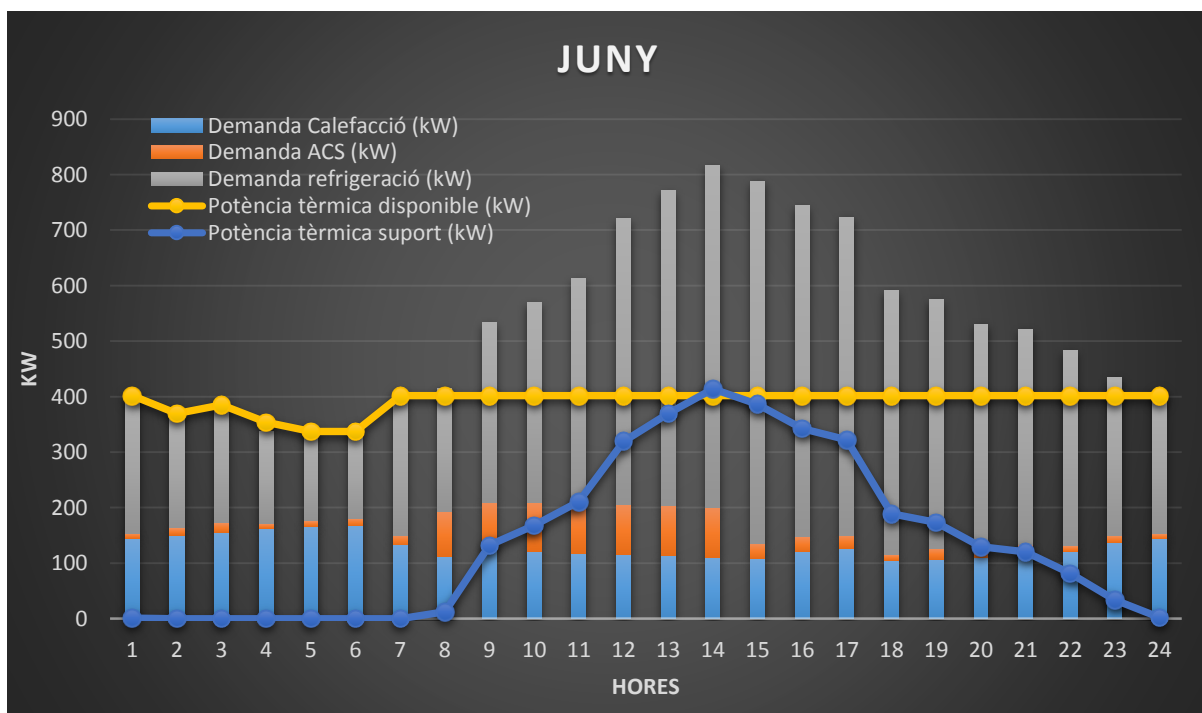
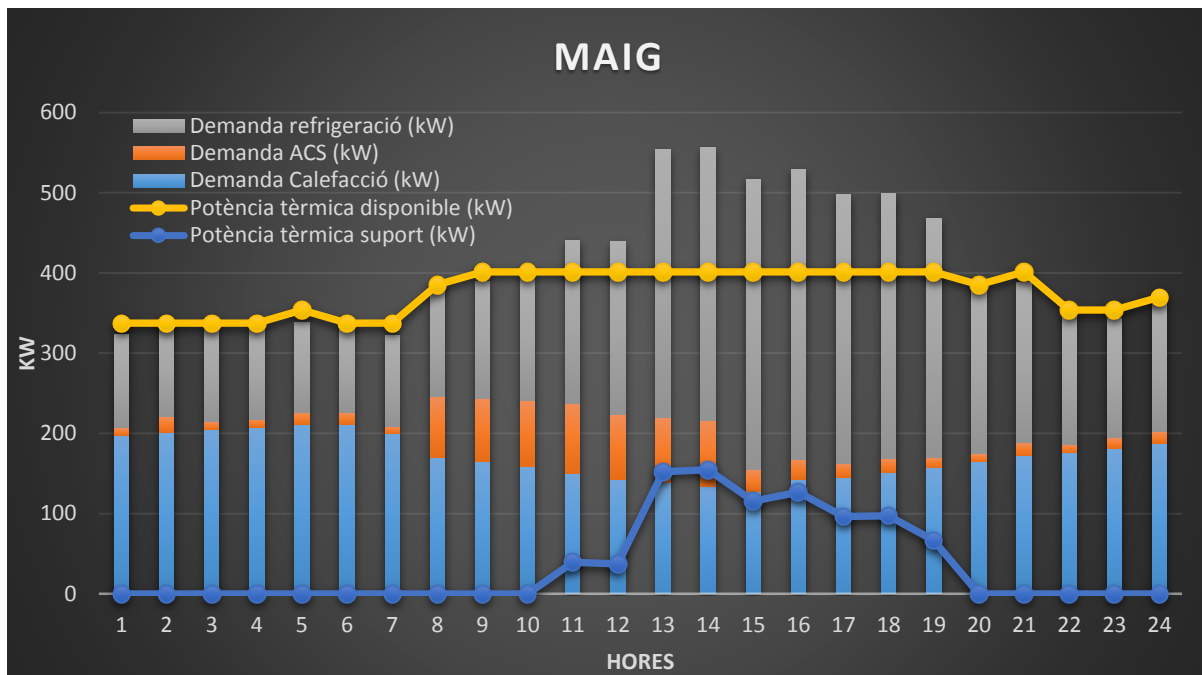
Resultant una potència total màxima de dissipació de calor de 510,11 kW.

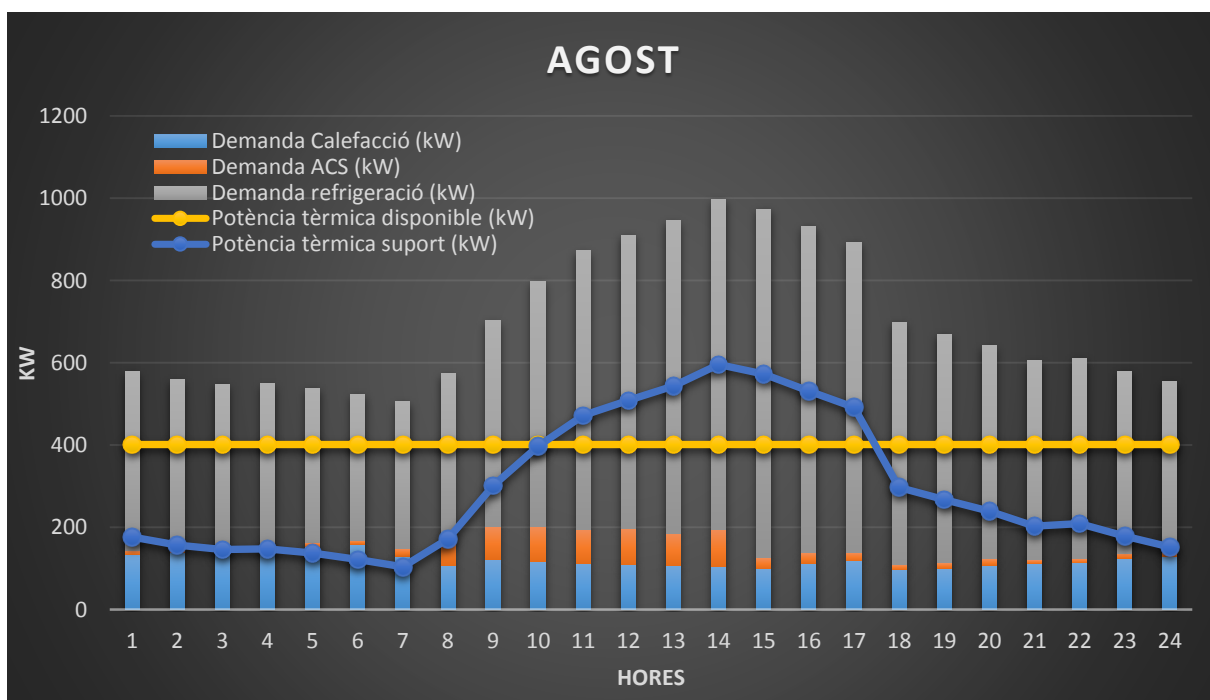
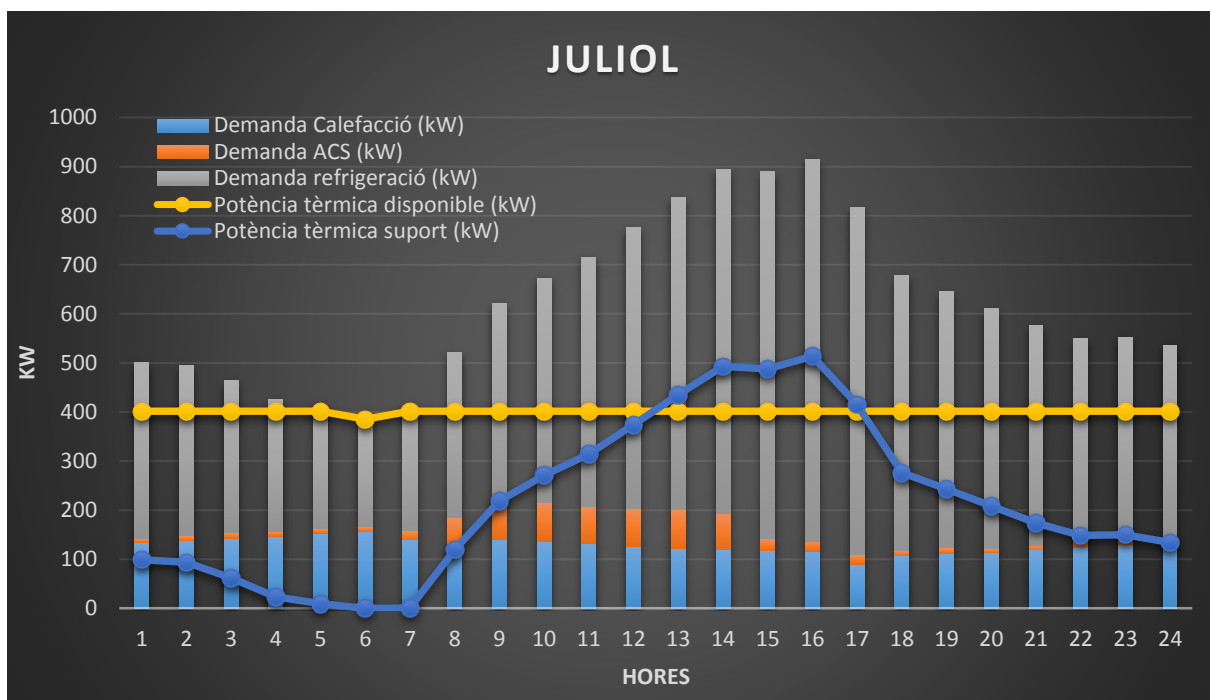
#### 4.3.4. Resultats gràfics

##### 4.3.4.1. Demandes tèrmiques dies típics mensuals

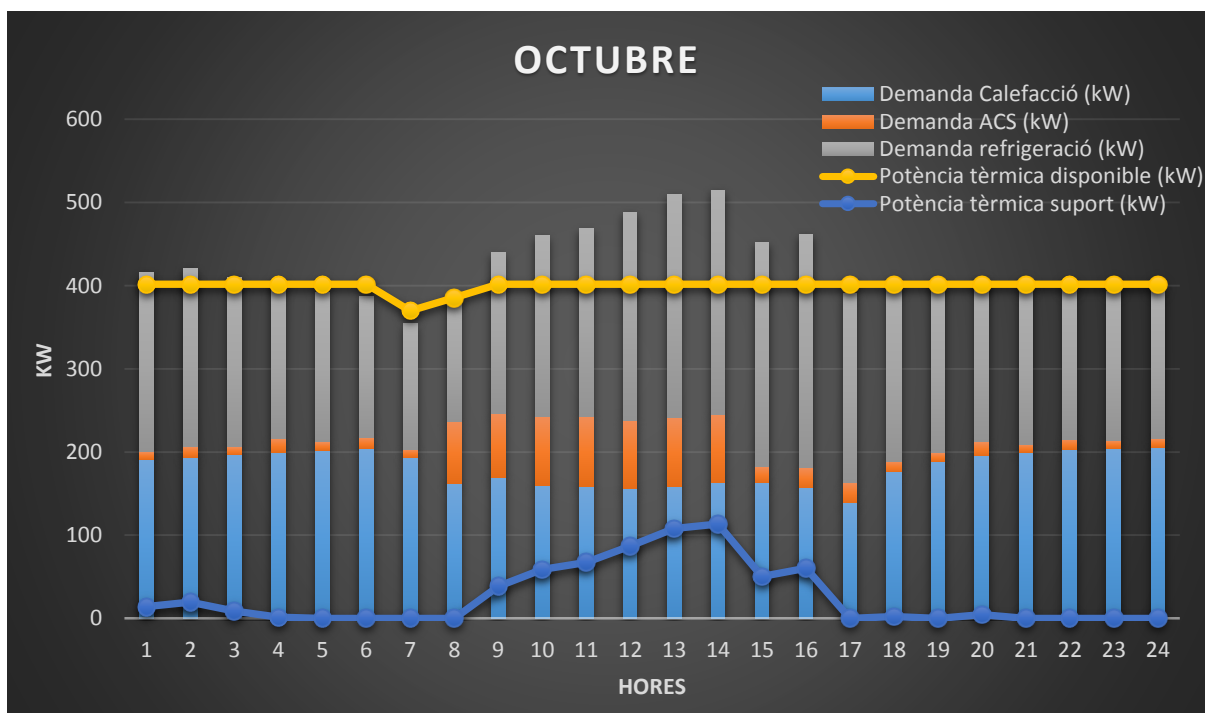
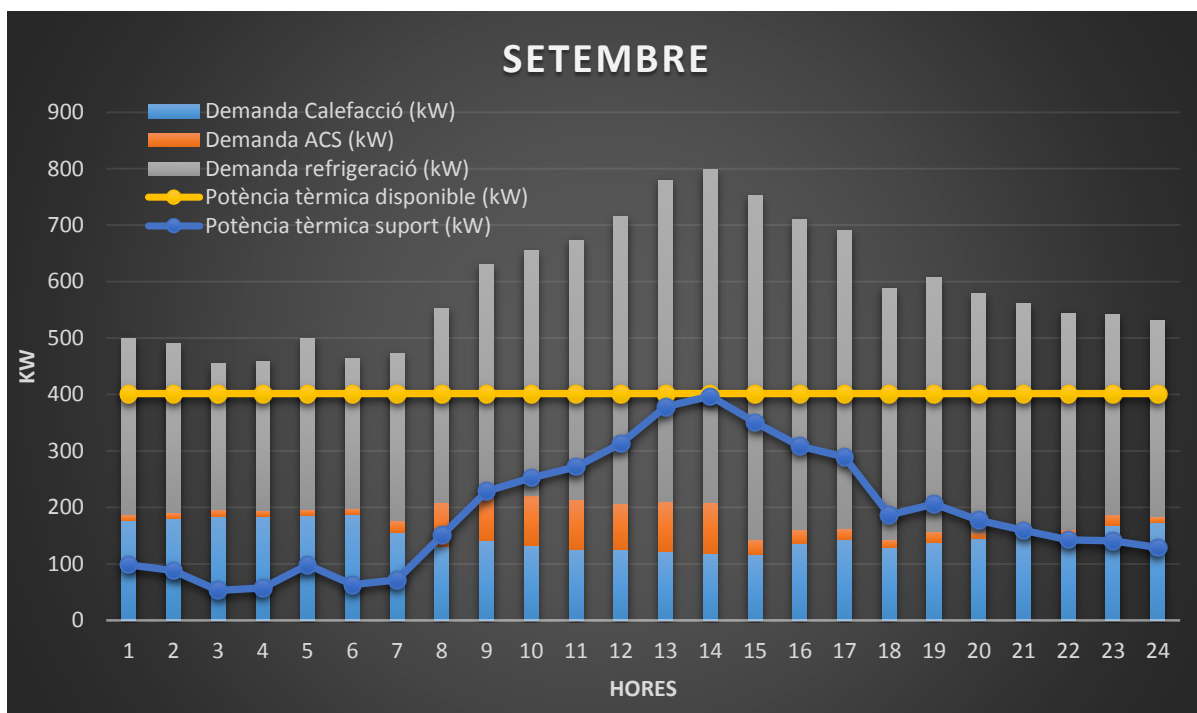


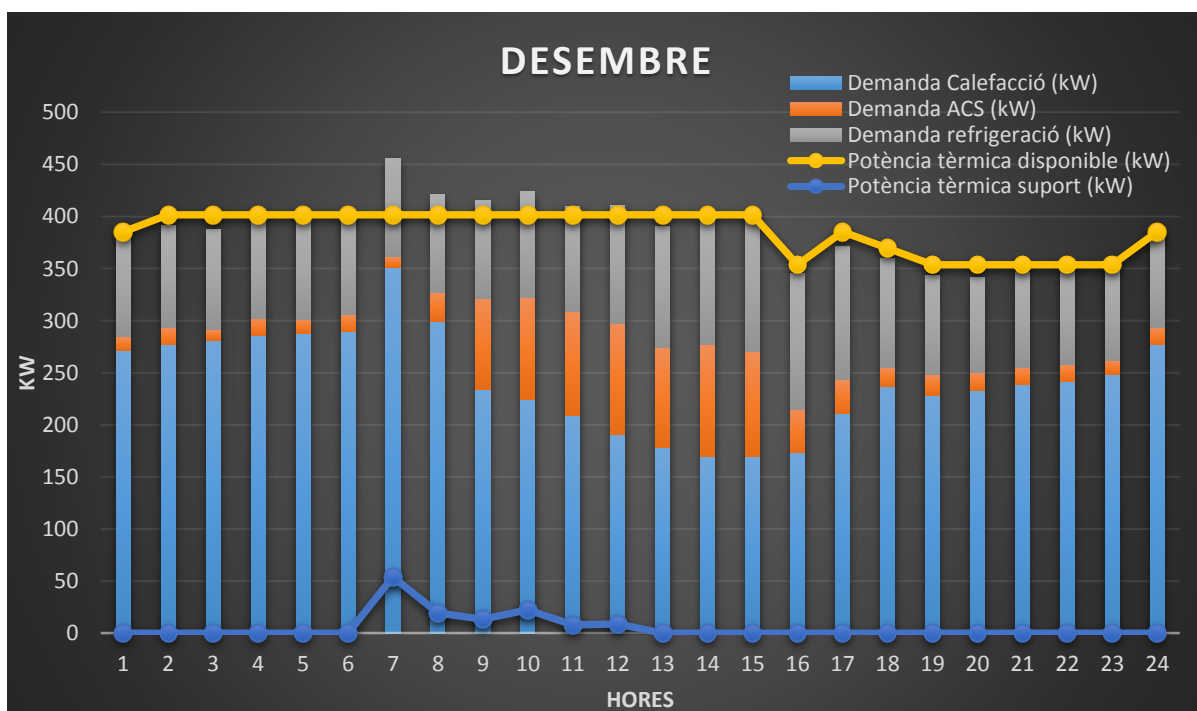
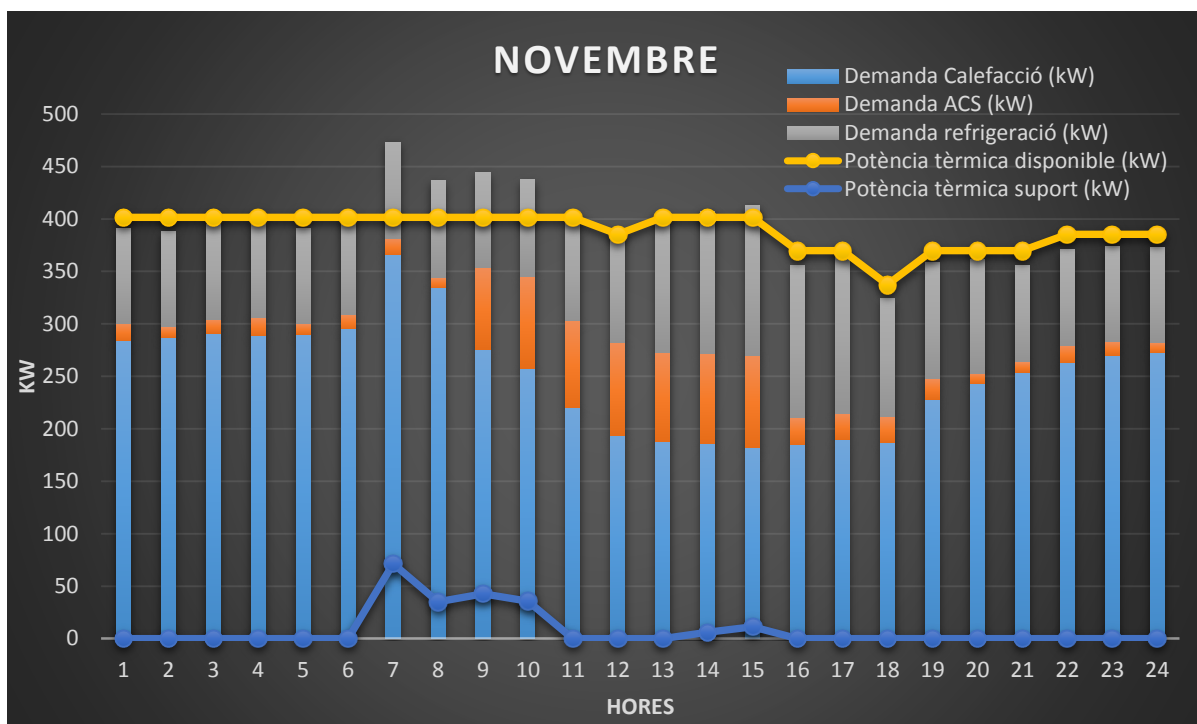




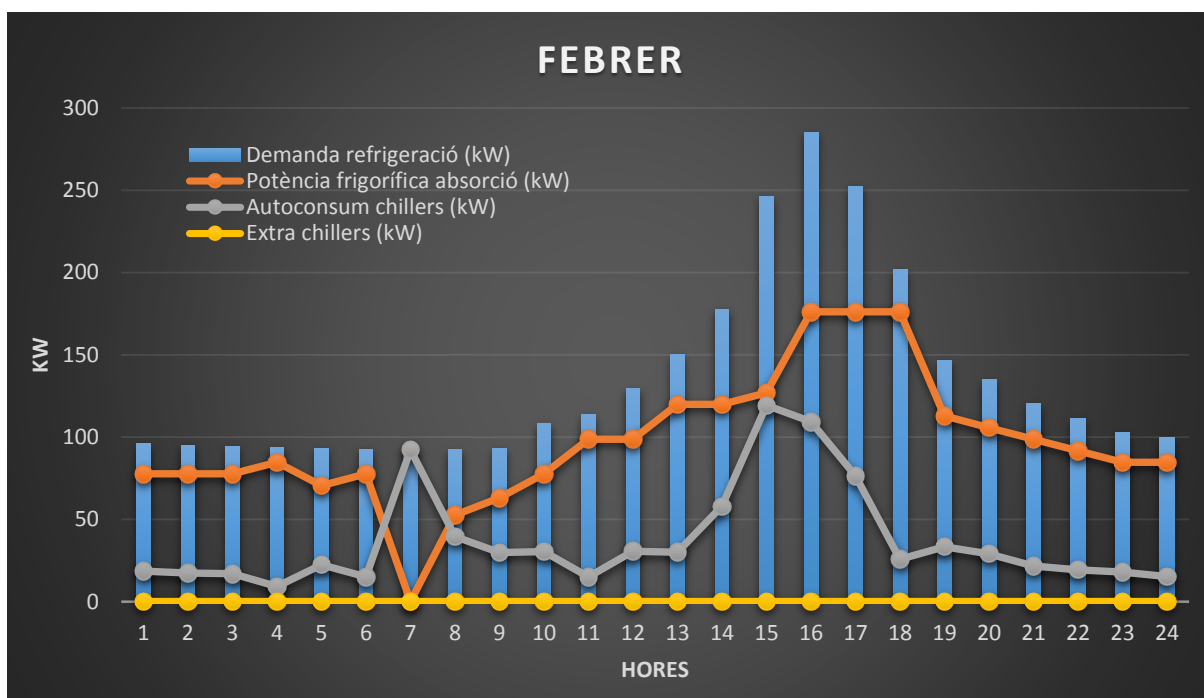
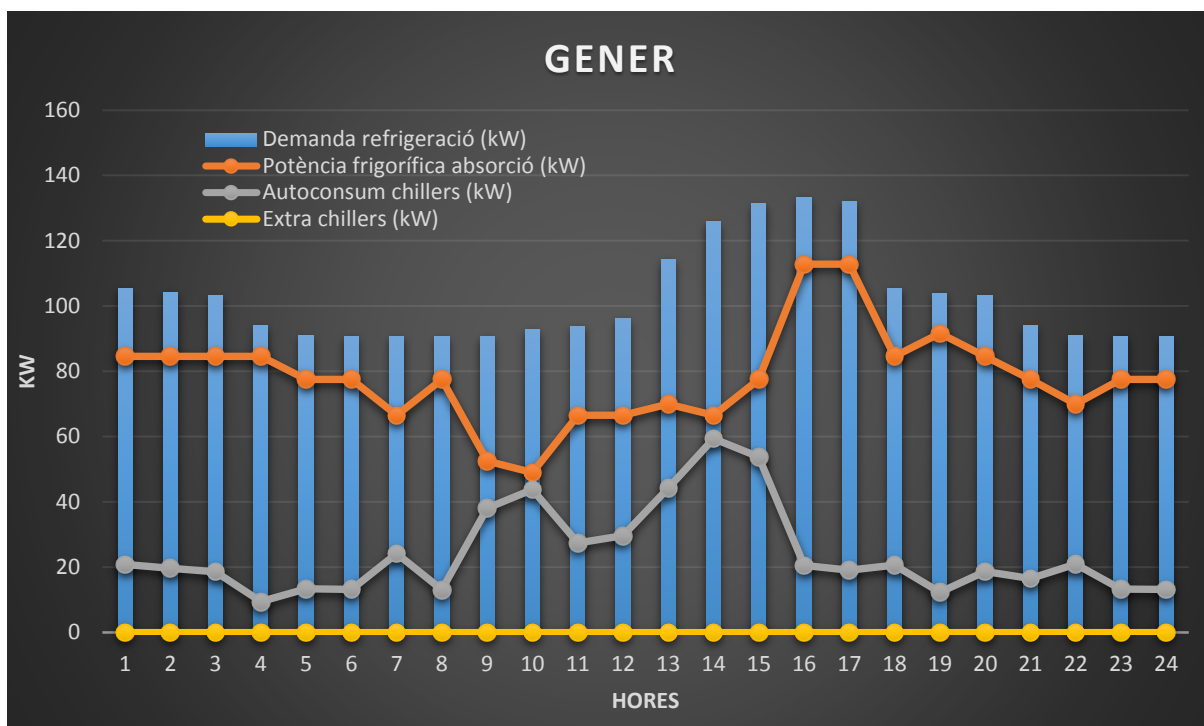


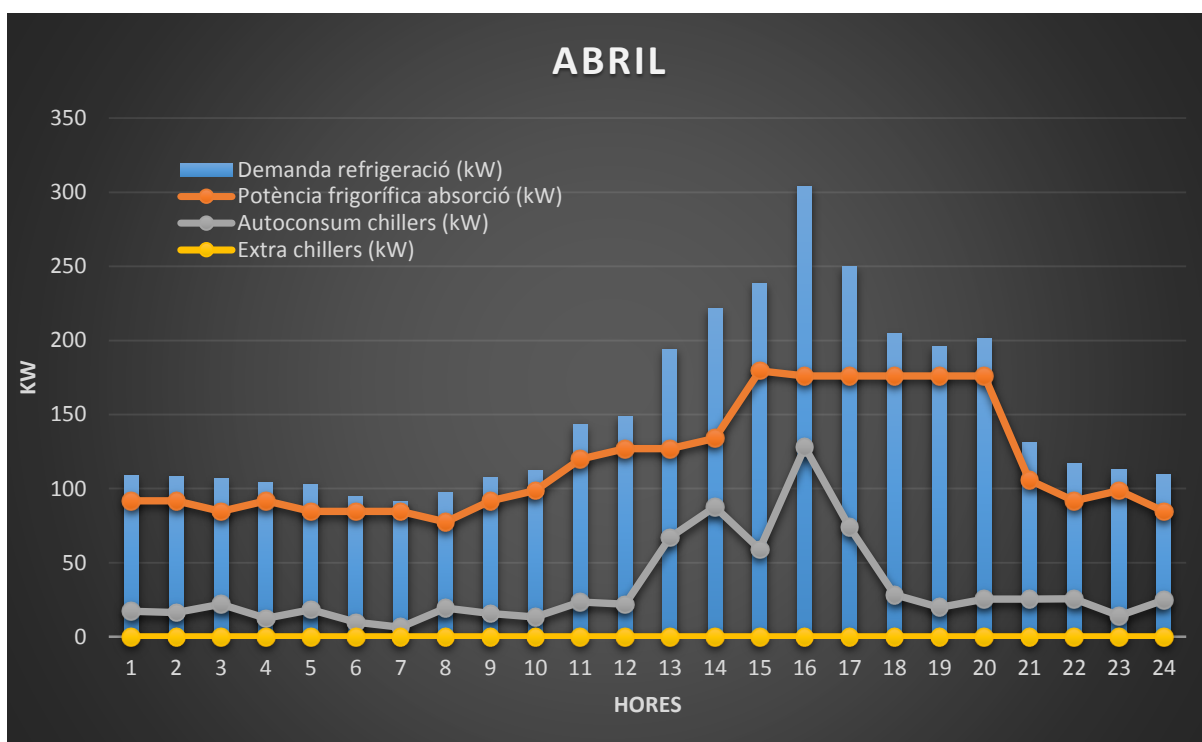
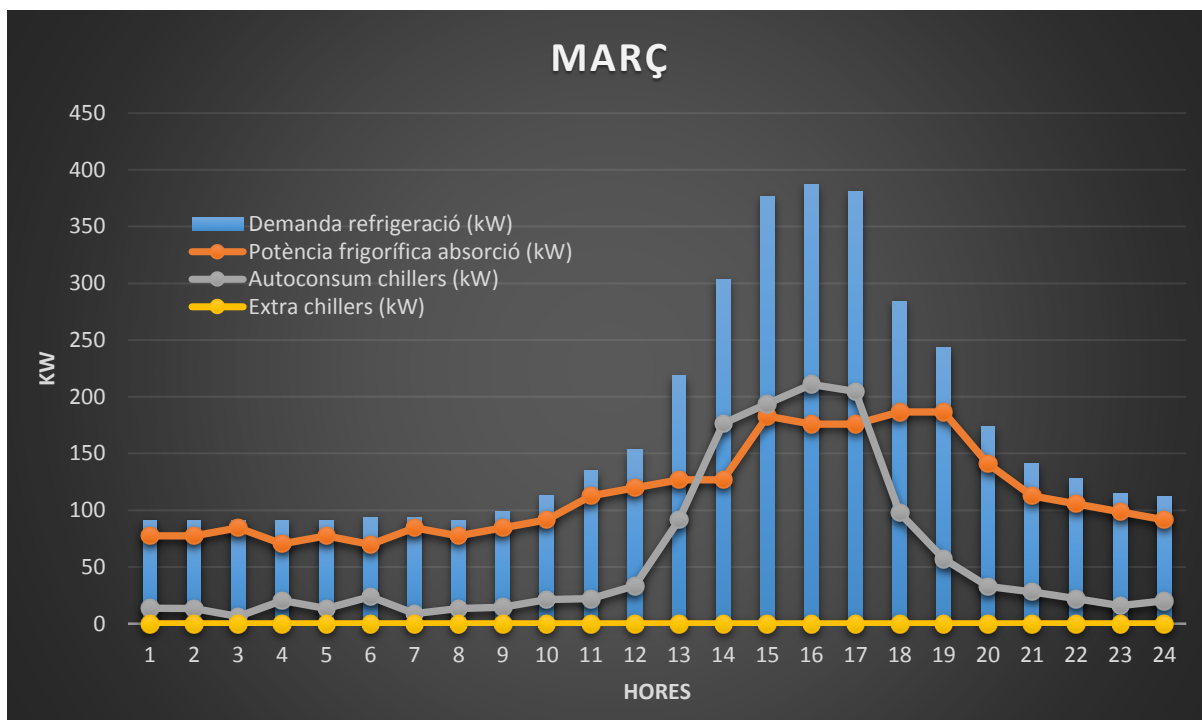


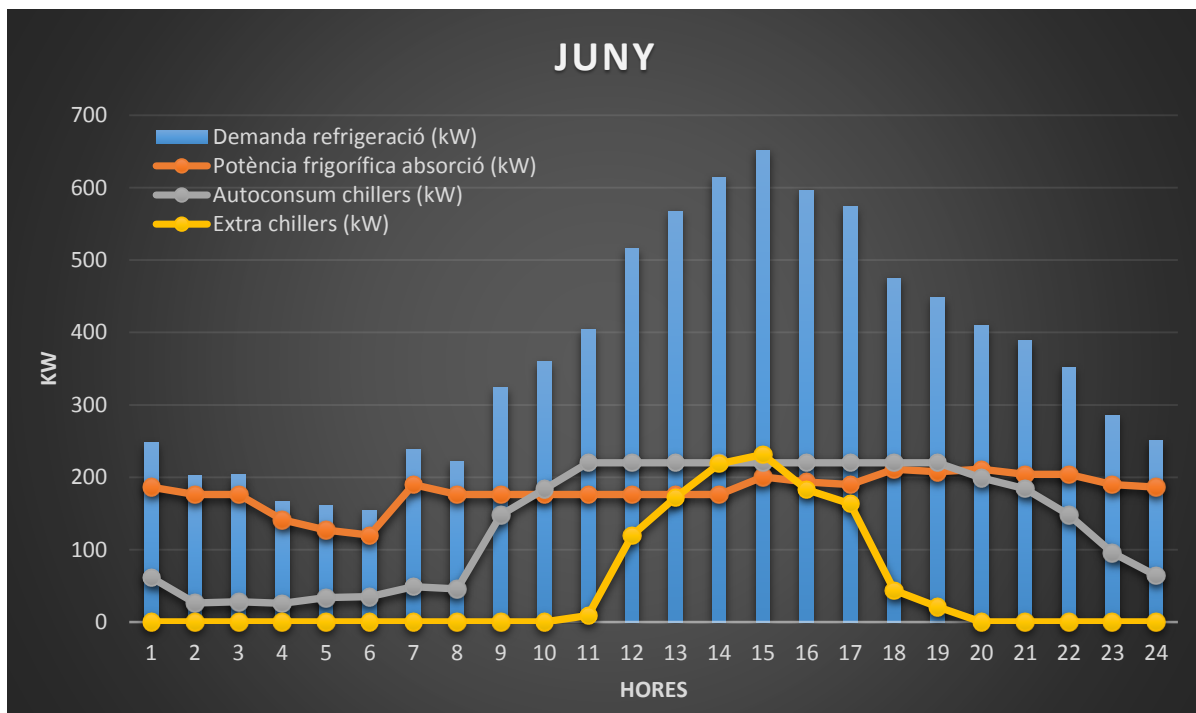
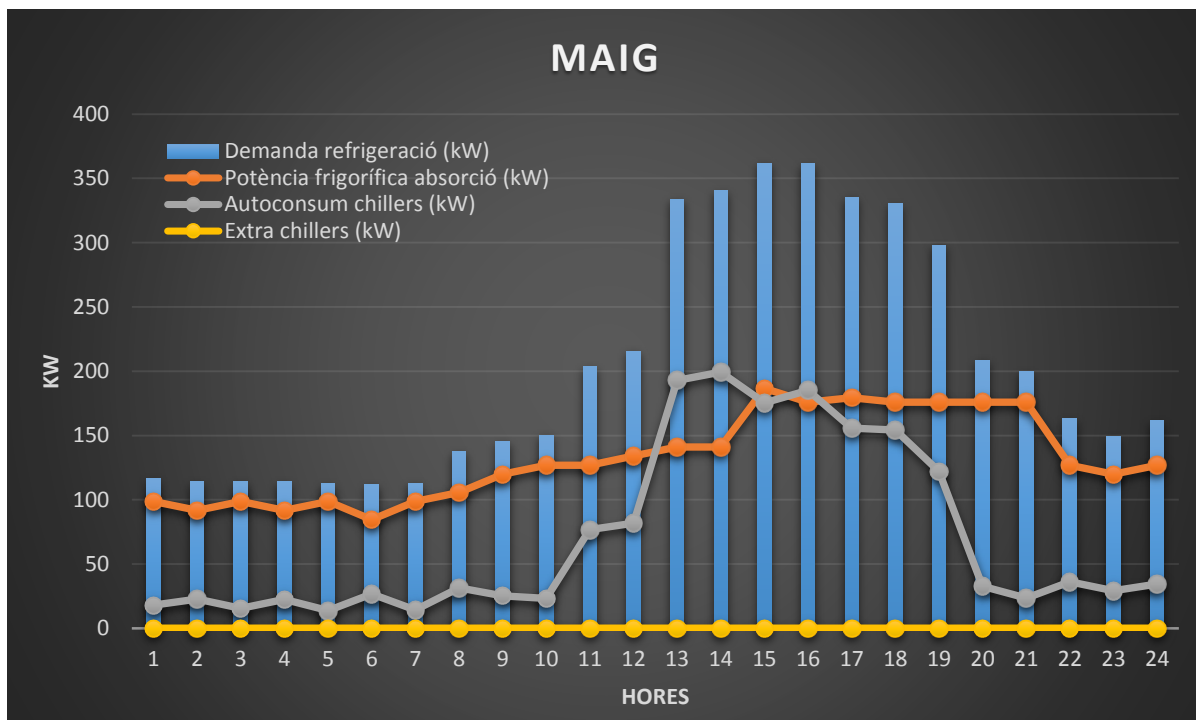


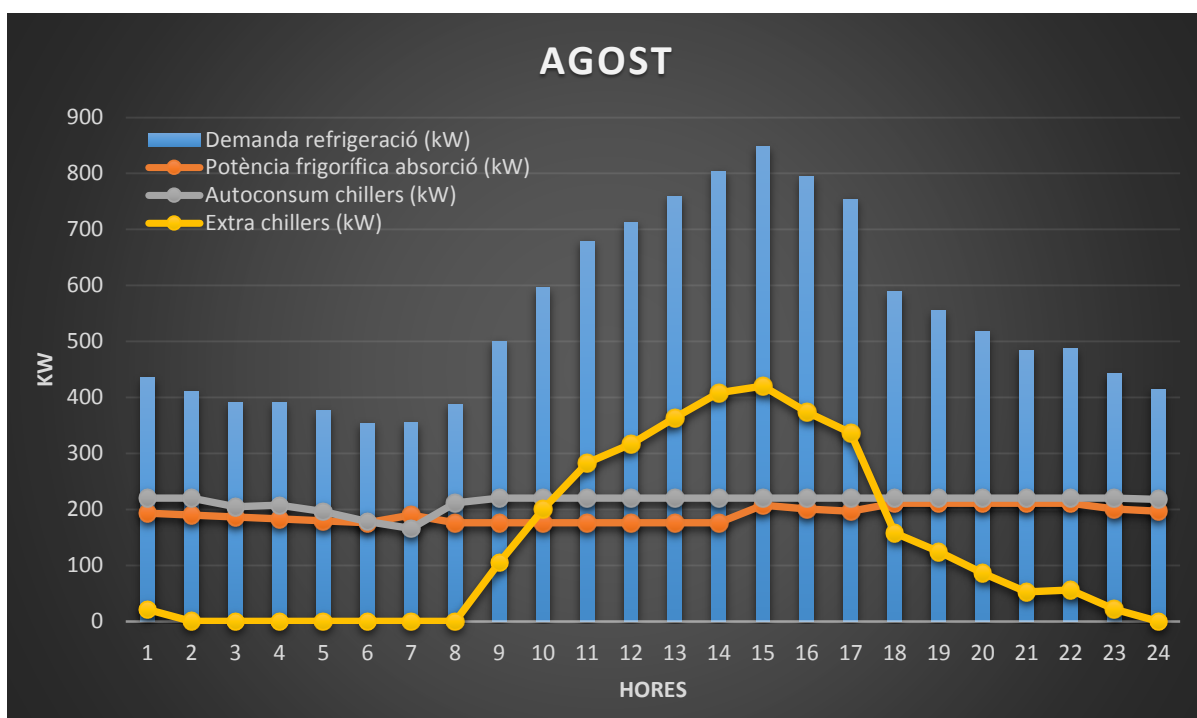
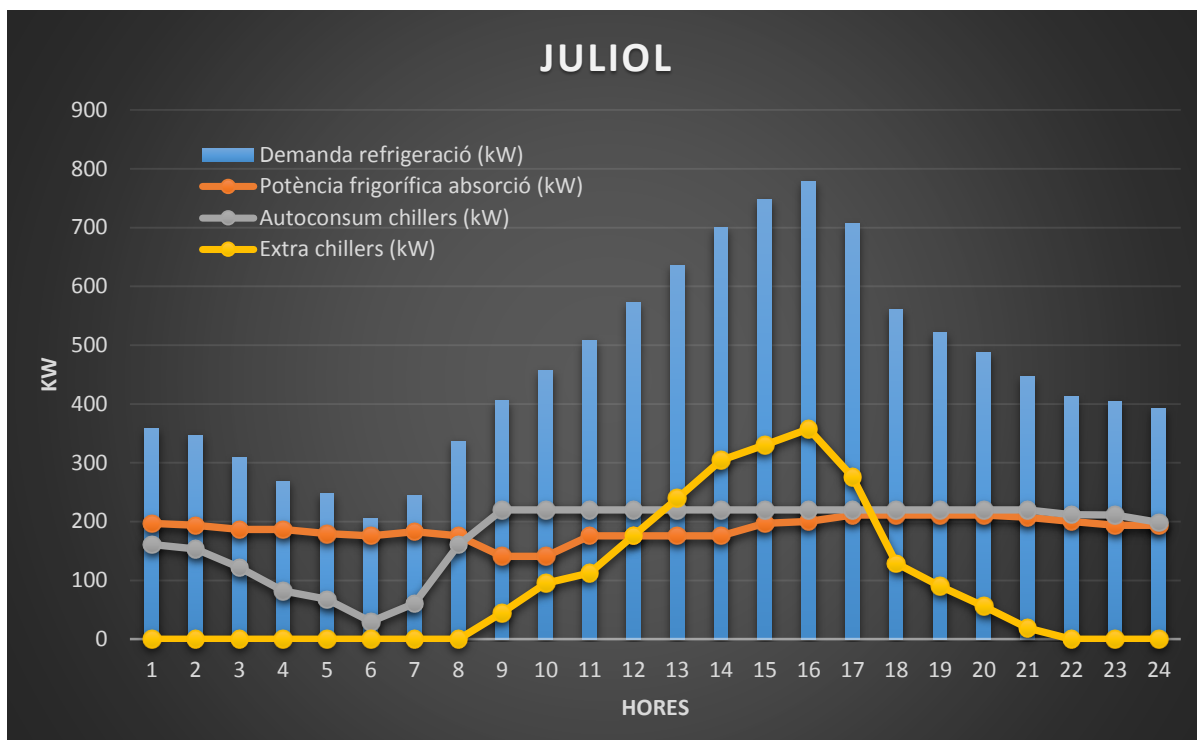


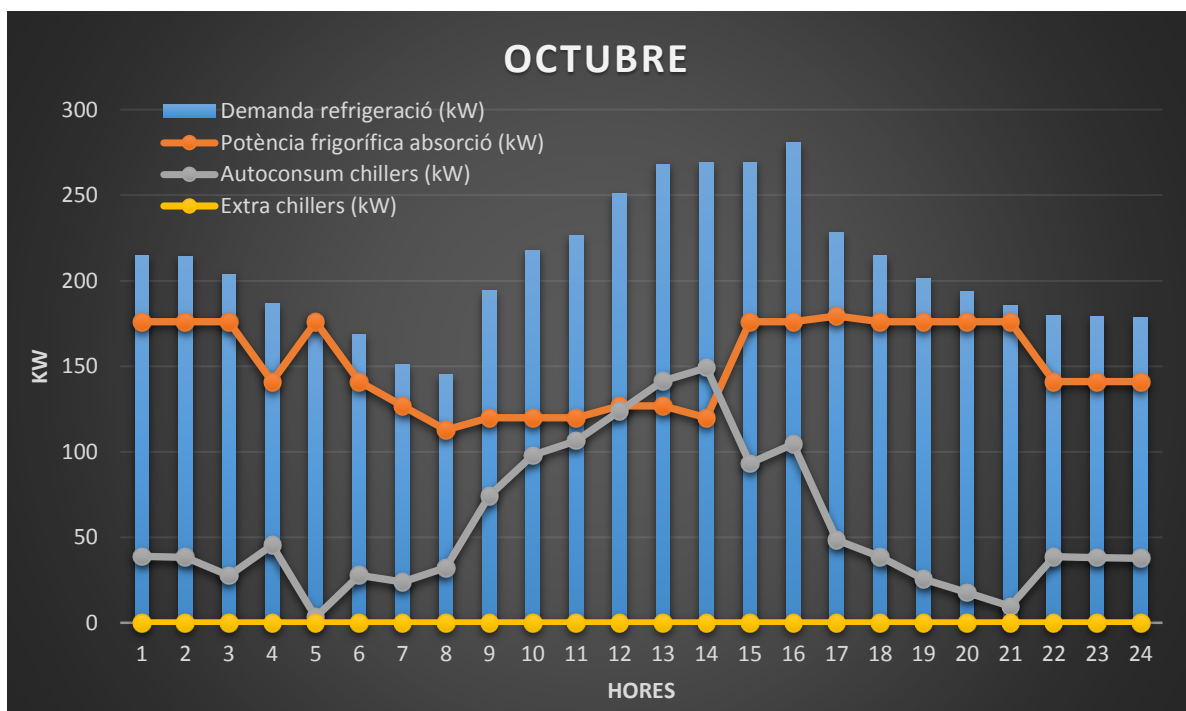
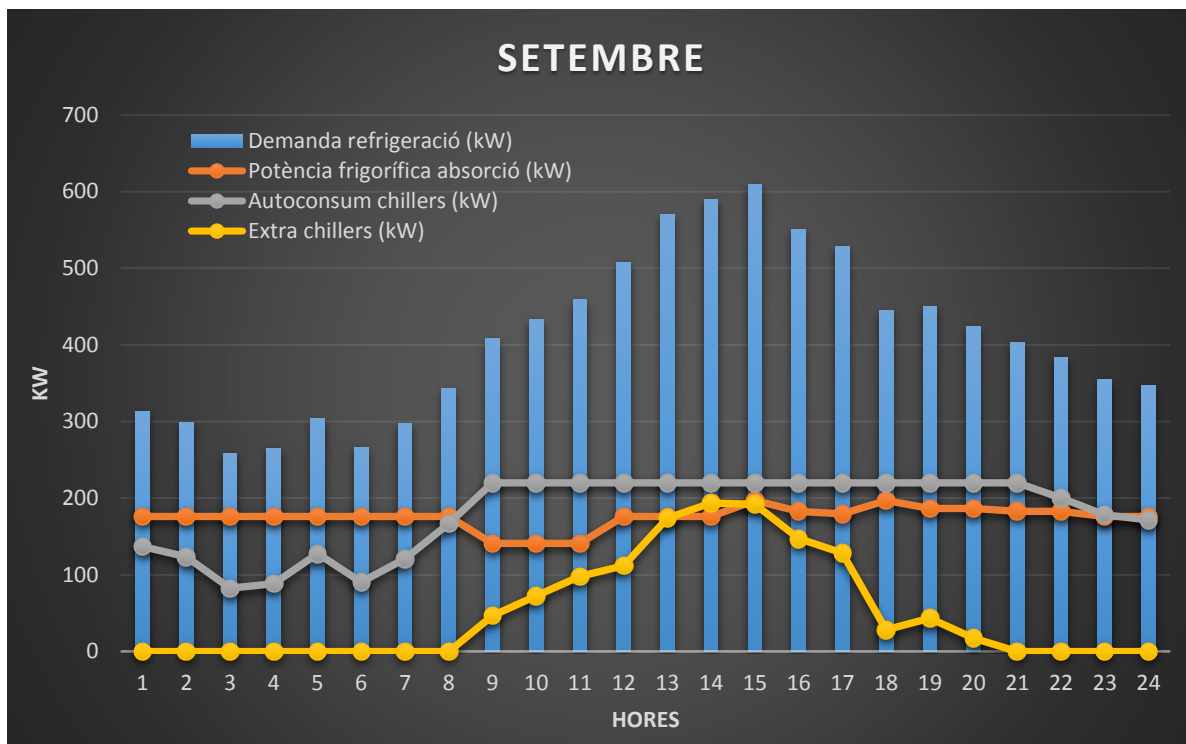
#### 4.3.4.2. Demandes frigorífiques dies típics mensuals

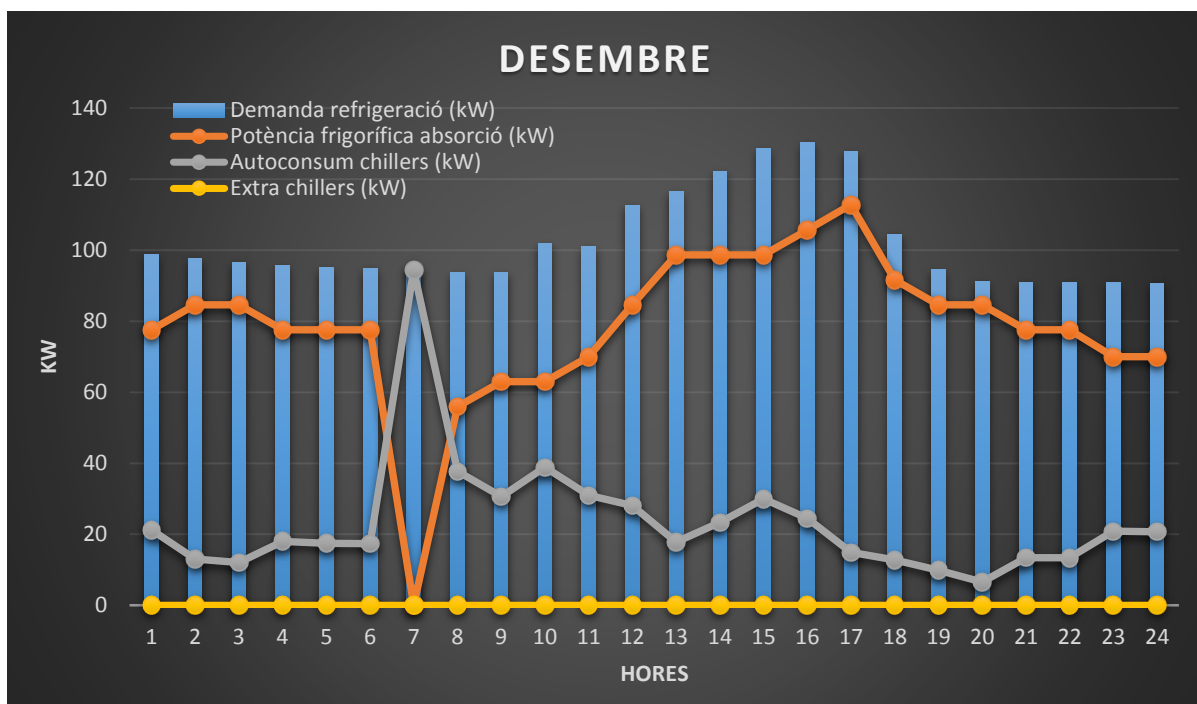
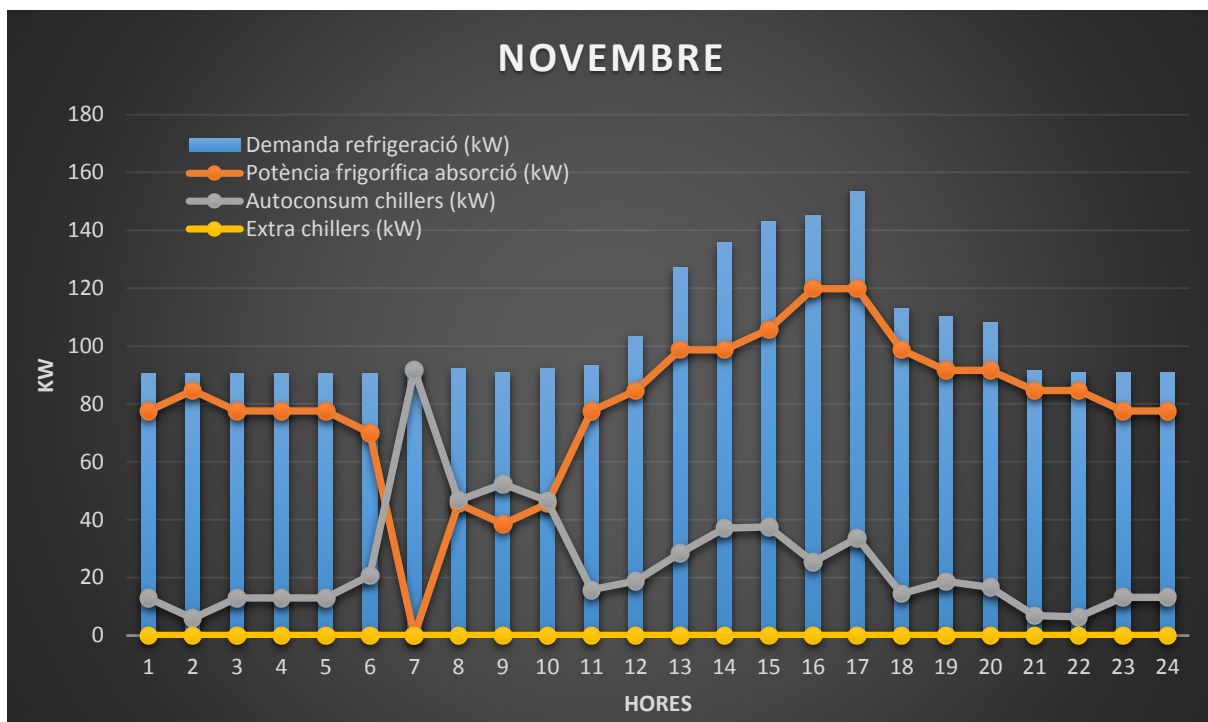






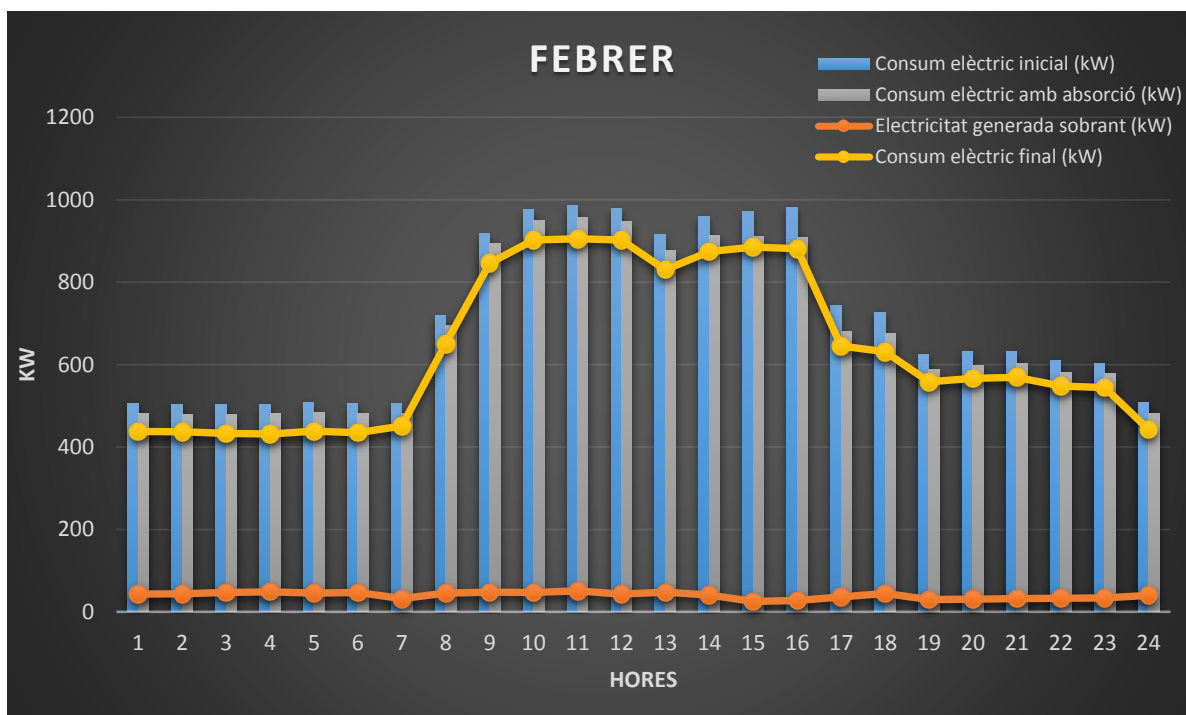
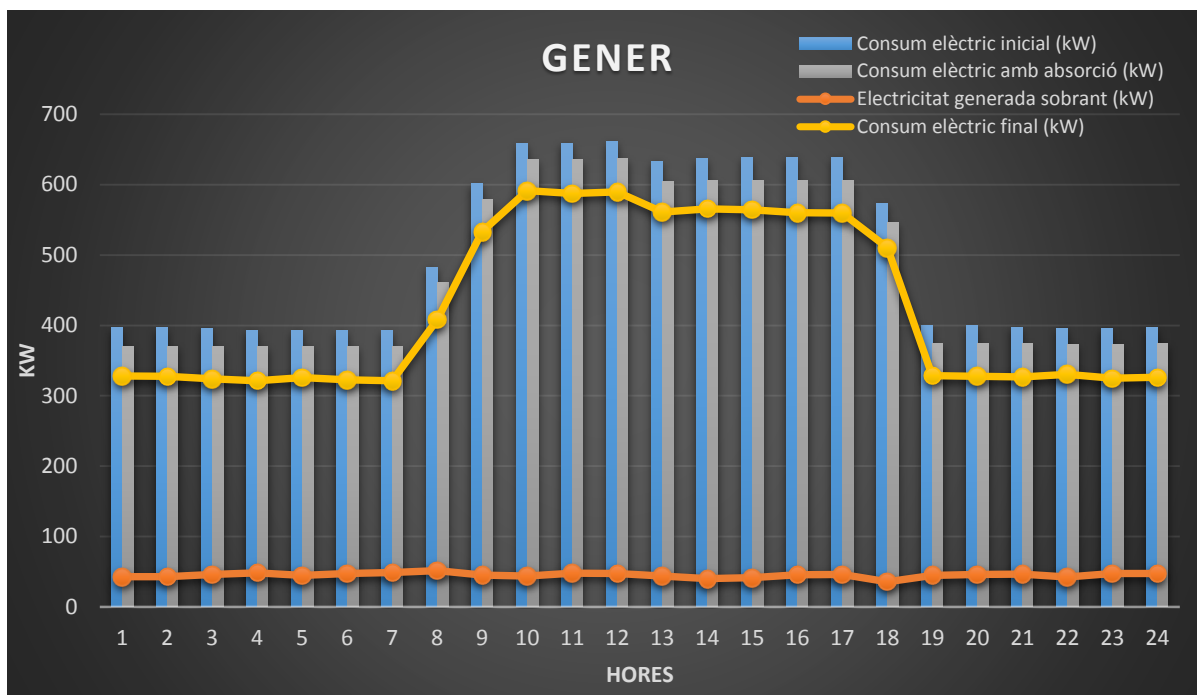


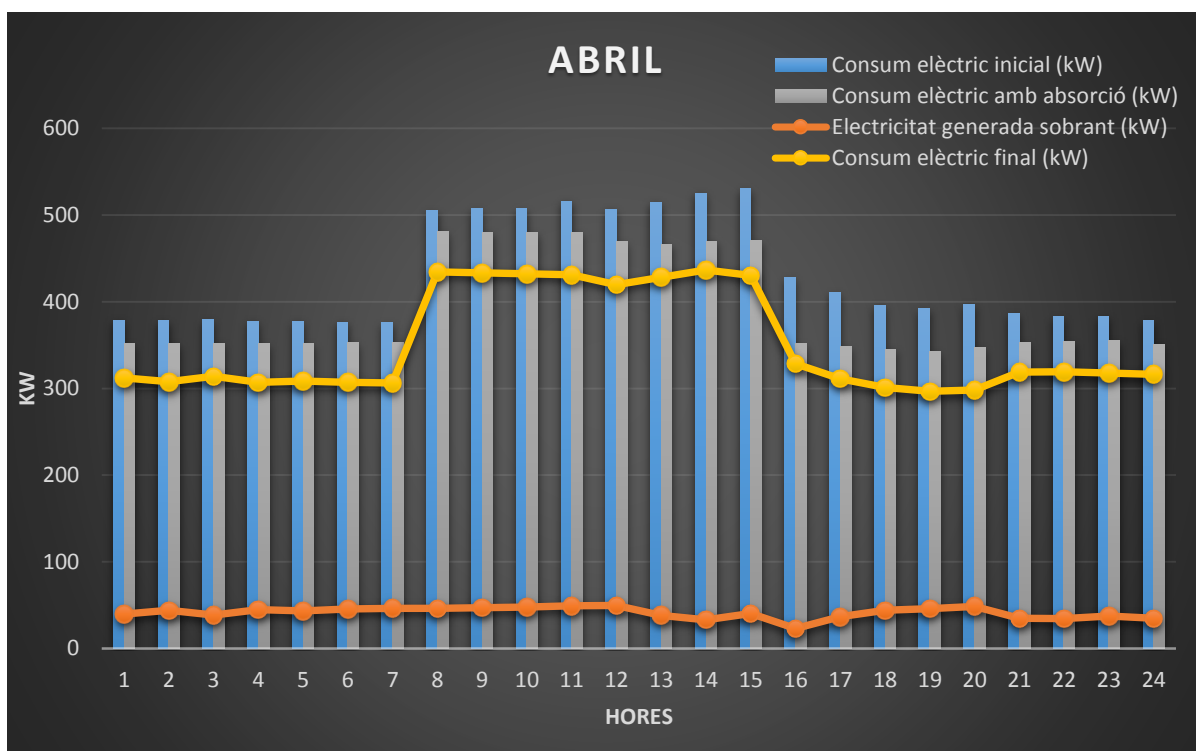
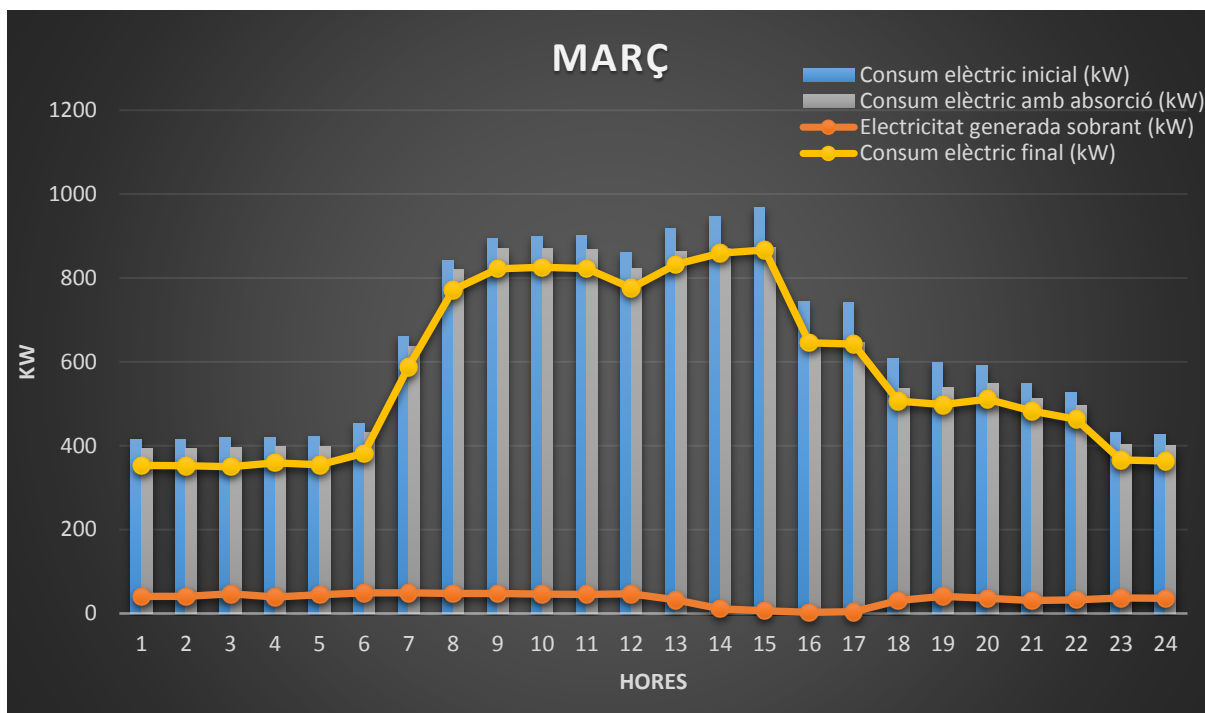


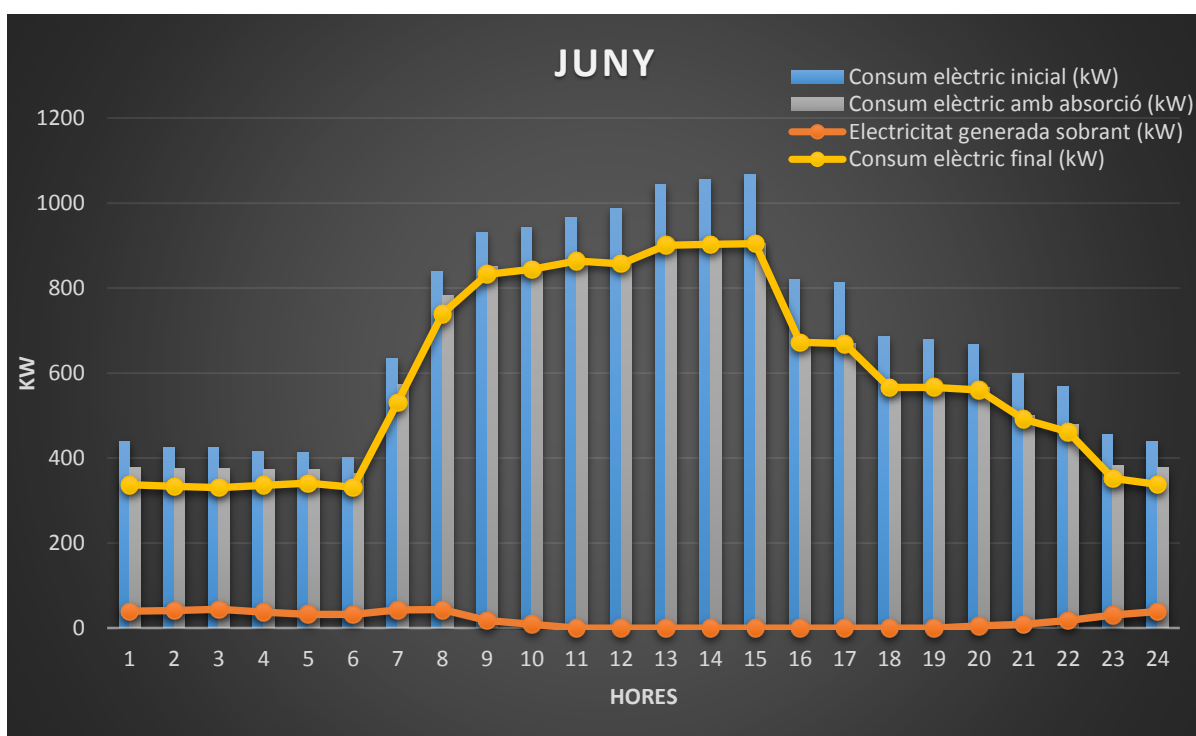
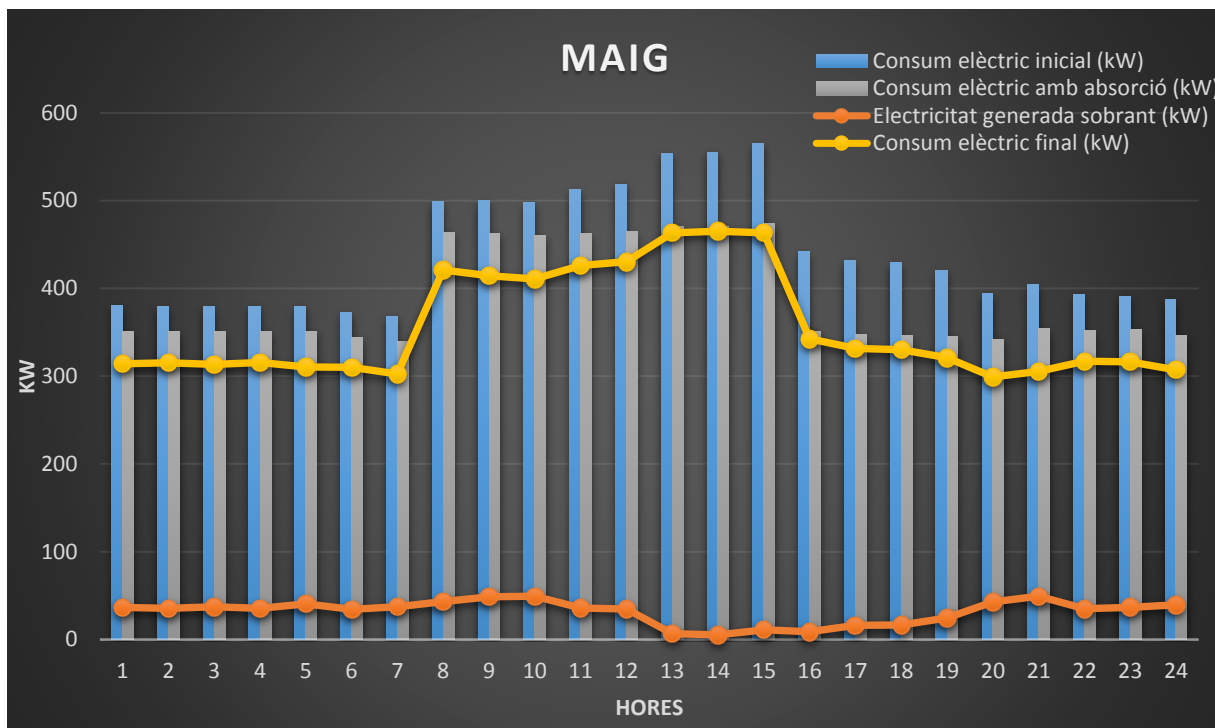


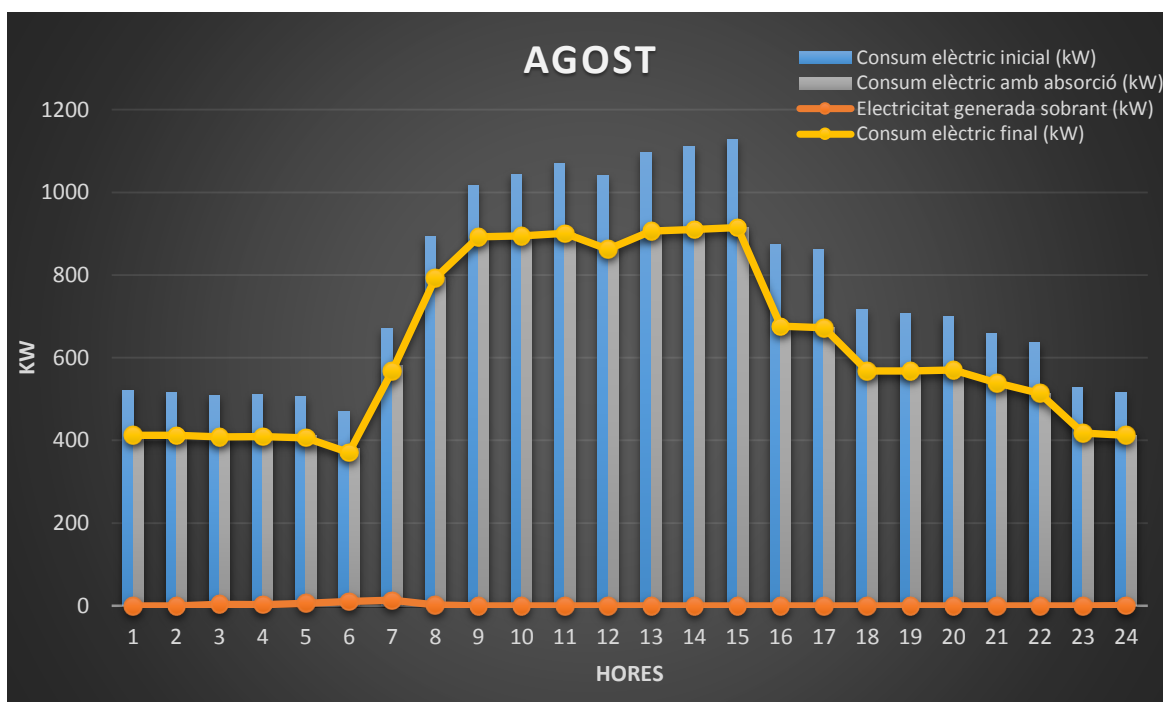
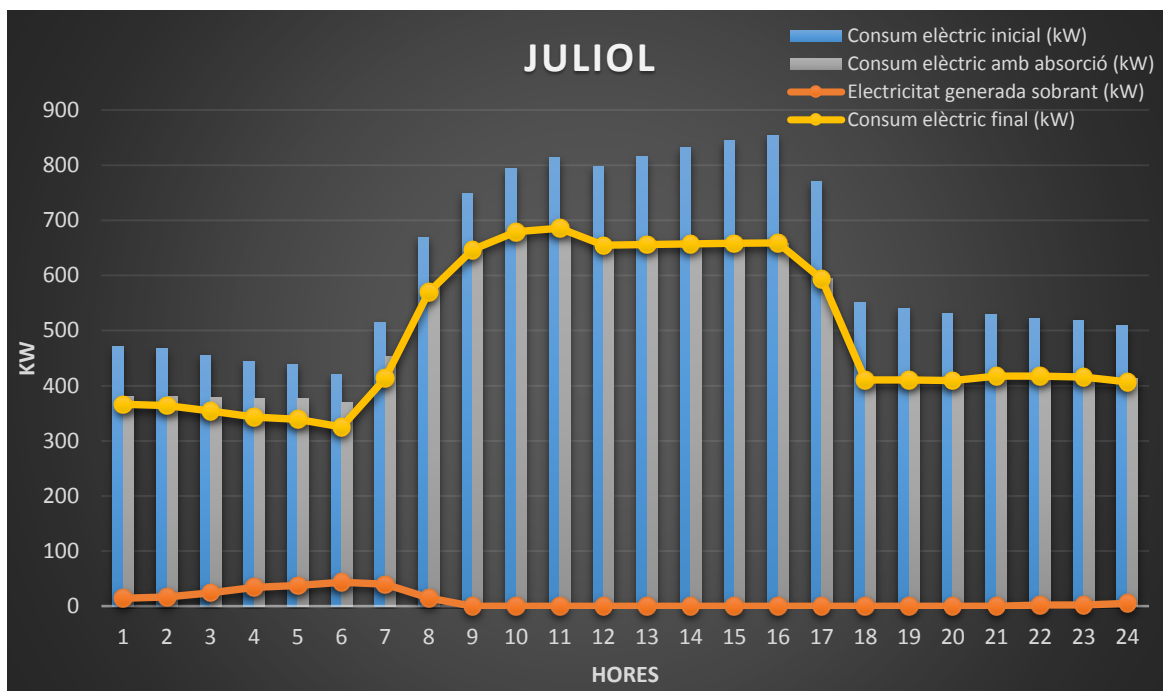


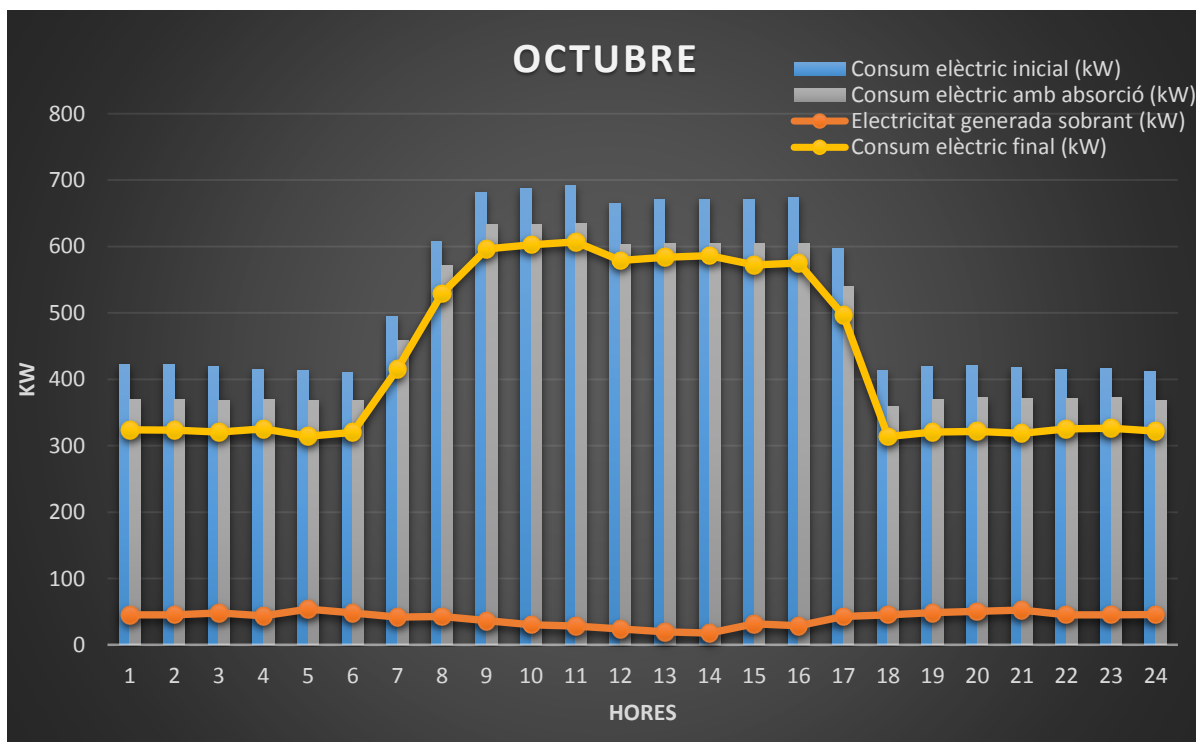
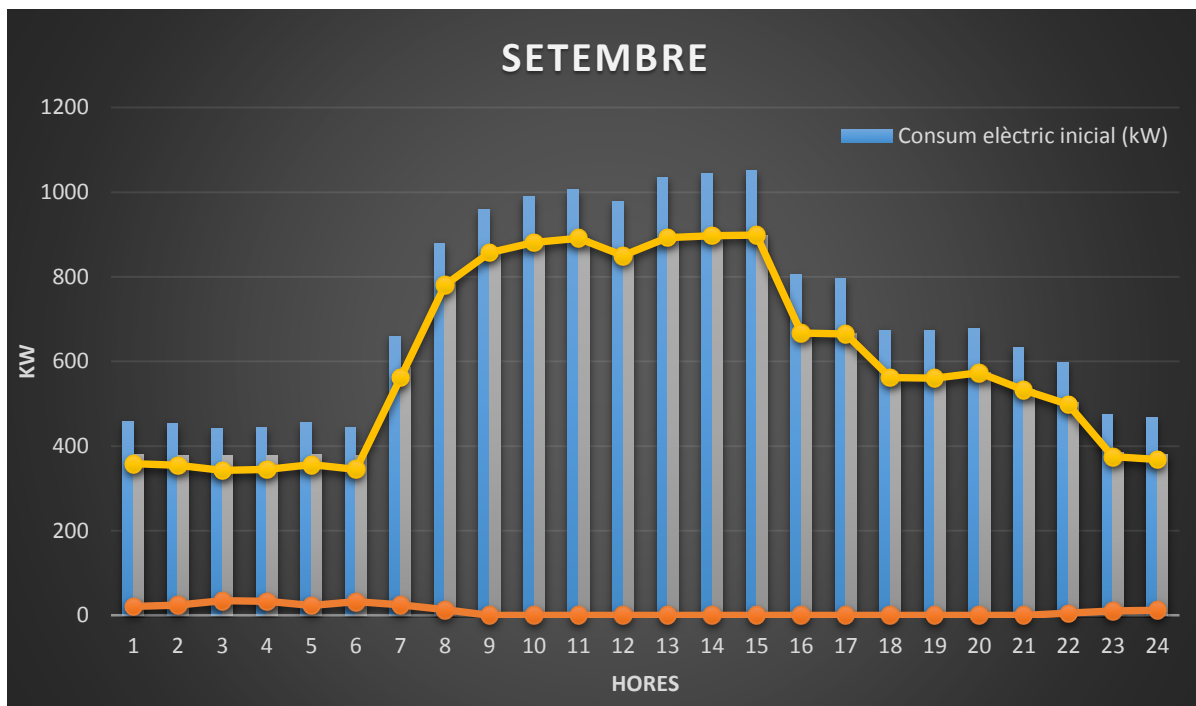
#### 4.3.4.3. Demanda elèctrica dies típics mensuals

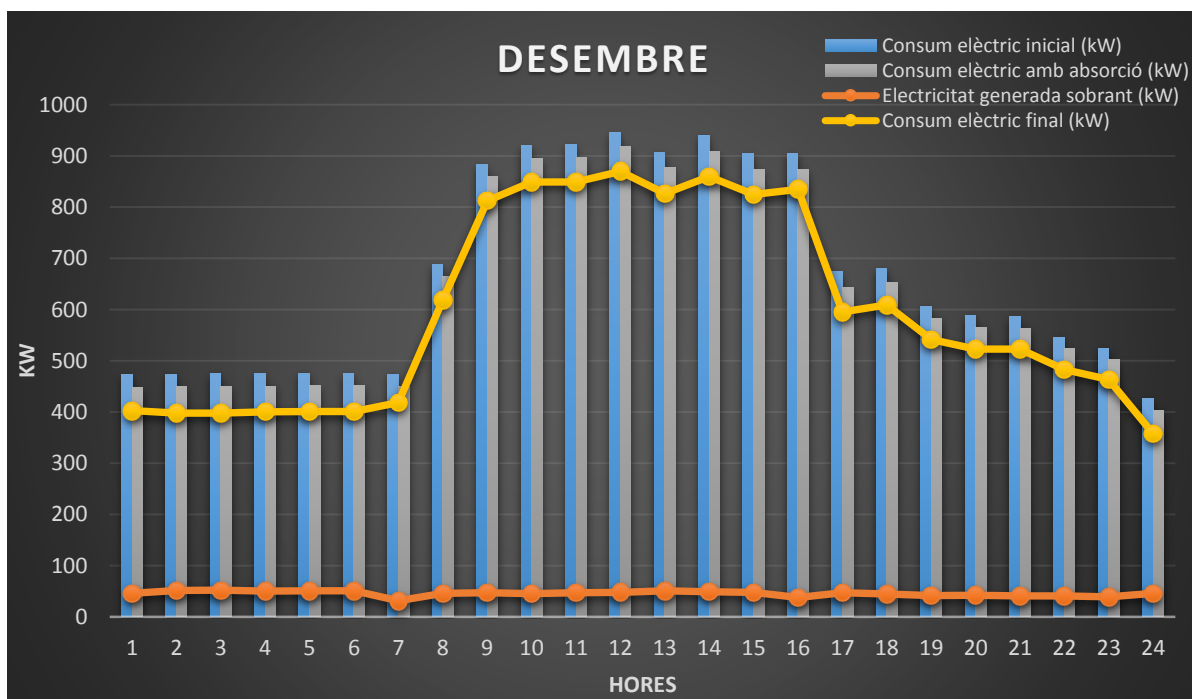
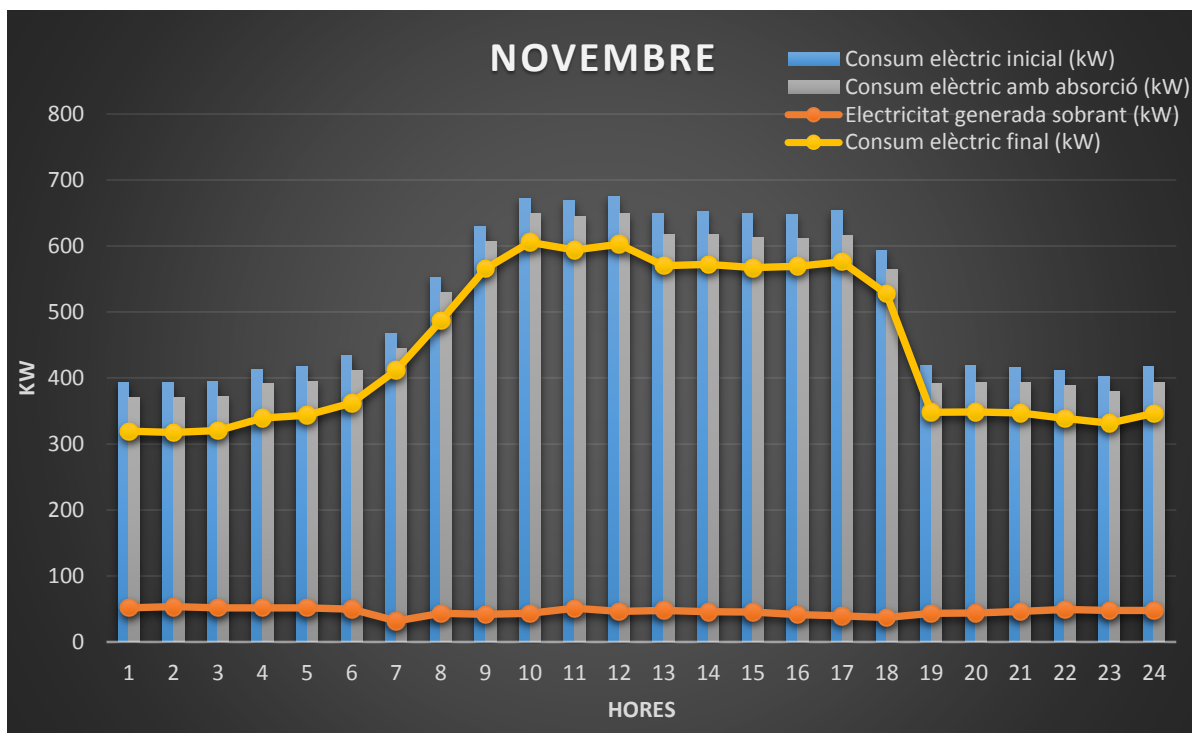












#### 4.3.4.4. Taules de resultats dies típics mensuals

### GENER

Data/Hora	Consum elèctric inicial (kW)	Demanda refrigeració (kW)	Demanda calor (kW)	Potència tèrmica disponible (kW)	Potència tèrmica suport (kW)	Electricitat generada (kW)	Potència frigorífica absorció (kW)	Autoconsum chillers (kW)	Extra chillers (kW)	Electricitat generada sobrant (kW)	Energia combustible (kW)	Consum elèctric final (kW)
01:00:00	397,16	105,41	261,16	369,75	0,00	48,00	84,60	20,81	0,00	42,80	532,07	328,01
02:00:00	396,64	104,30	261,26	369,75	0,00	48,00	84,60	19,70	0,00	43,07	532,07	327,49
03:00:00	396,22	103,20	273,22	385,31	0,00	51,00	84,60	18,60	0,00	46,35	579,96	324,07
04:00:00	393,64	94,05	276,68	385,31	0,00	51,00	84,60	9,45	0,00	48,64	579,96	321,49
05:00:00	393,30	90,92	274,73	369,75	0,00	48,00	77,55	13,37	0,00	44,66	532,07	325,91
06:00:00	393,05	90,77	286,80	385,31	0,00	51,00	77,55	13,22	0,00	47,70	579,96	322,67
07:00:00	392,93	90,69	313,86	401,50	3,05	55,00	66,50	24,19	0,00	48,95	579,96	321,31
08:00:00	482,76	90,62	305,38	401,50	0,00	55,00	77,55	13,07	0,00	51,73	579,96	408,37
09:00:00	601,17	90,60	332,25	401,50	21,35	55,00	52,50	38,10	0,00	45,48	579,96	533,04
10:00:00	658,56	92,82	338,11	401,50	29,43	55,00	49,00	43,82	0,00	44,05	579,96	591,31
11:00:00	659,01	93,87	316,16	401,50	8,54	55,00	66,50	27,37	0,00	48,16	579,96	587,38
12:00:00	661,27	96,16	317,48	401,50	12,14	55,00	66,50	29,66	0,00	47,58	579,96	589,65
13:00:00	633,33	114,20	310,82	401,50	23,52	55,00	70,00	44,20	0,00	43,95	579,96	560,83
14:00:00	637,38	125,92	315,11	401,50	39,53	55,00	66,50	59,42	0,00	40,15	579,96	565,76
15:00:00	638,70	131,32	303,86	401,50	33,68	55,00	77,55	53,77	0,00	41,56	579,96	564,31
16:00:00	639,20	133,35	240,55	385,31	0,00	51,00	112,80	20,55	0,00	45,86	579,96	560,00
17:00:00	638,87	131,91	243,61	385,31	0,00	51,00	112,80	19,11	0,00	46,22	579,96	559,67
18:00:00	572,57	105,26	229,95	337,46	0,00	41,00	84,60	20,66	0,00	35,84	505,47	510,42
19:00:00	399,69	104,01	255,92	369,75	0,00	48,00	91,65	12,36	0,00	44,91	532,07	328,78
20:00:00	400,01	103,24	280,09	385,31	0,00	51,00	84,60	18,64	0,00	46,34	579,96	327,86
21:00:00	397,38	94,05	282,87	385,31	0,00	51,00	77,55	16,50	0,00	46,87	579,96	326,99
22:00:00	395,94	90,95	278,49	369,75	0,00	48,00	70,00	20,95	0,00	42,76	532,07	330,44
23:00:00	395,27	90,81	288,22	385,31	0,00	51,00	77,55	13,26	0,00	47,68	579,96	324,88
24:00:00	396,72	90,74	289,10	385,31	0,00	51,00	77,55	13,19	0,00	47,70	579,96	326,34

## FEBRER

Data/Hora	Consum elèctric inicial (kW)	Demanda refrigeració (kW)	Demanda calor (kW)	Potència tèrmica disponible (kW)	Potència tèrmica suport (kW)	Electricitat generada (kW)	Potència frigorífica absorció (kW)	Autoconsum chillers (kW)	Extra chillers (kW)	Electricitat generada sobrant (kW)	Energia combustible (kW)	Consum elèctric final (kW)
01:00:00	505,03	96,09	271,79	369,75	0,00	48,00	77,55	18,54	0,00	43,37	532,07	437,65
02:00:00	504,23	94,97	271,10	369,75	0,00	48,00	77,55	17,42	0,00	43,64	532,07	436,84
03:00:00	503,25	94,48	284,54	385,31	0,00	51,00	77,55	16,93	0,00	46,77	579,96	432,87
04:00:00	504,09	93,85	279,13	385,31	0,00	51,00	84,60	9,25	0,00	48,69	579,96	431,94
05:00:00	507,06	92,93	291,98	385,31	0,00	51,00	70,50	22,43	0,00	45,39	579,96	438,44
06:00:00	505,32	92,54	288,23	385,31	0,00	51,00	77,55	14,99	0,00	47,25	579,96	434,93
07:00:00	505,75	92,26	389,41	401,50	80,17	55,00	0,00	92,26	0,00	31,94	579,96	450,75
08:00:00	718,54	92,10	332,15	401,50	22,75	55,00	52,50	39,60	0,00	45,10	579,96	650,41
09:00:00	917,48	92,87	320,43	401,50	11,80	55,00	63,00	29,87	0,00	47,53	579,96	846,73
10:00:00	976,35	108,01	301,67	401,50	8,19	55,00	77,55	30,46	0,00	47,38	579,96	901,96
11:00:00	984,92	113,61	272,20	401,50	0,00	55,00	98,70	14,91	0,00	51,27	579,96	905,25
12:00:00	978,34	129,27	255,39	385,31	0,00	51,00	98,70	30,57	0,00	43,36	579,96	902,66
13:00:00	915,13	149,85	249,38	401,50	0,00	55,00	119,85	30,00	0,00	47,50	579,96	830,17
14:00:00	959,10	177,77	249,83	401,50	26,10	55,00	119,85	57,92	0,00	40,52	579,96	874,13
15:00:00	972,07	246,13	233,48	401,50	78,11	55,00	126,90	119,23	0,00	25,19	579,96	885,34
16:00:00	980,34	285,35	170,12	401,50	53,96	55,00	176,00	109,35	0,00	27,66	579,96	881,34
17:00:00	744,20	252,41	183,20	401,50	34,12	55,00	176,00	76,41	0,00	35,90	579,96	645,20
18:00:00	725,90	201,73	183,42	385,31	0,00	51,00	176,00	25,73	0,00	44,57	579,96	630,90
19:00:00	624,26	146,18	172,97	321,30	0,00	38,00	112,80	33,38	0,00	29,65	478,87	558,06
20:00:00	631,01	134,78	185,51	321,30	0,00	38,00	105,75	29,03	0,00	30,74	478,87	566,57
21:00:00	631,95	120,41	195,09	321,30	0,00	38,00	98,70	21,71	0,00	32,57	478,87	569,28
22:00:00	609,19	110,97	206,43	321,30	0,00	38,00	91,65	19,32	0,00	33,17	478,87	548,28
23:00:00	603,50	102,57	210,55	321,30	0,00	38,00	84,60	17,97	0,00	33,51	478,87	544,35
24:00:00	507,43	99,88	250,07	353,78	0,00	44,00	84,60	15,28	0,00	40,18	532,07	442,28



### MARC

Data/Hora	Consum elèctric inicial (kW)	Demanda refrigeració (kW)	Demanda calor (kW)	Potència tèrmica disponible (kW)	Potència tèrmica suport (kW)	Electricitat generada (kW)	Potència frigorífica absorció (kW)	Autoconsum chillers (kW)	Extra chillers (kW)	Electricitat generada sobrant (kW)	Energia combustible (kW)	Consum elèctric final (kW)
01:00:00	416,05	91,33	251,51	353,78	0,00	44,00	77,55	13,78	0,00	40,56	532,07	352,66
02:00:00	415,39	91,07	253,71	353,78	0,00	44,00	77,55	13,52	0,00	40,62	532,07	352,00
03:00:00	419,44	91,00	263,04	369,75	0,00	48,00	84,60	6,40	0,00	46,40	532,07	350,29
04:00:00	420,89	90,96	259,81	353,78	0,00	44,00	70,50	20,46	0,00	38,88	532,07	359,26
05:00:00	421,78	90,92	271,38	369,75	0,00	48,00	77,55	13,37	0,00	44,66	532,07	354,39
06:00:00	454,14	93,97	310,62	401,50	3,09	55,00	70,00	23,97	0,00	49,01	579,96	381,64
07:00:00	660,02	93,56	279,12	385,31	0,00	51,00	84,60	8,96	0,00	48,76	579,96	587,87
08:00:00	841,84	90,97	283,57	385,31	0,00	51,00	77,55	13,42	0,00	47,65	579,96	771,45
09:00:00	894,31	99,26	276,63	385,31	0,00	51,00	84,60	14,66	0,00	47,33	579,96	822,16
10:00:00	899,46	113,13	266,06	385,31	0,00	51,00	91,65	21,48	0,00	45,63	579,96	825,55
11:00:00	902,06	134,96	244,11	385,31	0,00	51,00	112,80	22,16	0,00	45,46	579,96	822,86
12:00:00	860,84	153,24	244,54	401,50	0,00	55,00	119,85	33,39	0,00	46,65	579,96	775,88
13:00:00	918,98	218,58	235,85	401,50	52,93	55,00	126,90	91,68	0,00	32,08	579,96	832,25
14:00:00	946,29	303,51	239,09	401,50	141,10	55,00	126,90	176,61	0,00	10,85	579,96	859,57
15:00:00	967,80	376,84	158,75	401,50	134,09	55,00	183,00	193,84	0,00	6,54	579,96	867,05
16:00:00	744,52	386,89	172,83	401,50	158,22	55,00	176,00	210,89	0,00	2,28	579,96	645,52
17:00:00	741,70	380,69	172,02	401,50	151,21	55,00	176,00	204,69	0,00	3,83	579,96	642,70
18:00:00	608,41	284,42	153,28	401,50	36,20	55,00	186,50	97,92	0,00	30,52	579,96	506,78
19:00:00	599,46	243,74	157,09	401,50	0,00	55,00	186,50	57,24	0,00	40,69	579,96	497,83
20:00:00	590,54	173,85	167,74	353,78	0,00	44,00	141,00	32,85	0,00	35,79	532,07	511,29
21:00:00	549,24	141,07	176,20	321,30	0,00	38,00	112,80	28,27	0,00	30,93	478,87	483,04
22:00:00	527,65	127,95	182,24	321,30	0,00	38,00	105,75	22,20	0,00	32,45	478,87	463,21
23:00:00	431,75	114,71	212,88	337,46	0,00	41,00	98,70	16,01	0,00	37,00	505,47	366,07
24:00:00	427,53	111,78	216,96	337,46	0,00	41,00	91,65	20,13	0,00	35,97	505,47	363,62

### ABRIL

Data/Hora	Consum elèctric inicial (kW)	Demanda refrigeració (kW)	Demanda calor (kW)	Potència tèrmica disponible (kW)	Potència tèrmica suport (kW)	Electricitat generada (kW)	Potència frigorífica absorció (kW)	Autoconsum chillers (kW)	Extra chillers (kW)	Electricitat generada sobrant (kW)	Energia combustible (kW)	Consum elèctric final (kW)
01:00:00	378,98	108,93	234,64	353,78	0,00	44,00	91,65	17,28	0,00	39,68	532,07	312,07
02:00:00	378,64	107,98	248,27	369,75	0,00	48,00	91,65	16,33	0,00	43,92	532,07	307,73
03:00:00	379,04	106,61	244,20	353,78	0,00	44,00	84,60	22,01	0,00	38,50	532,07	313,89
04:00:00	377,91	104,00	253,31	369,75	0,00	48,00	91,65	12,35	0,00	44,91	532,07	306,99
05:00:00	377,61	102,98	264,93	369,75	0,00	48,00	84,60	18,38	0,00	43,40	532,07	308,46
06:00:00	376,35	94,40	265,65	369,75	0,00	48,00	84,60	9,80	0,00	45,55	532,07	307,20
07:00:00	375,45	91,05	264,54	369,75	0,00	48,00	84,60	6,45	0,00	46,39	532,07	306,30
08:00:00	504,99	96,93	283,80	385,31	0,00	51,00	77,55	19,38	0,00	46,15	579,96	434,60
09:00:00	507,14	107,39	270,40	385,31	0,00	51,00	91,65	15,74	0,00	47,07	579,96	433,23
10:00:00	507,77	112,11	259,65	385,31	0,00	51,00	98,70	13,41	0,00	47,65	579,96	432,10
11:00:00	516,06	143,23	247,69	401,50	0,00	55,00	119,85	23,38	0,00	49,16	579,96	431,10
12:00:00	506,49	148,80	241,35	401,50	0,00	55,00	126,90	21,90	0,00	49,52	579,96	419,77
13:00:00	514,92	193,95	232,53	401,50	24,98	55,00	126,90	67,05	0,00	38,24	579,96	428,20
14:00:00	525,04	221,58	230,05	401,50	50,13	55,00	133,95	87,63	0,00	33,09	579,96	436,56
15:00:00	530,11	238,55	163,24	401,50	0,30	55,00	179,50	59,05	0,00	40,24	579,96	430,23
16:00:00	427,62	304,06	177,79	401,50	80,35	55,00	176,00	128,06	0,00	22,99	579,96	328,62
17:00:00	410,20	249,83	179,43	401,50	27,76	55,00	176,00	73,83	0,00	36,54	579,96	311,20
18:00:00	396,19	204,39	172,92	385,31	0,00	51,00	176,00	28,39	0,00	43,90	579,96	301,19
19:00:00	391,65	195,82	183,22	385,31	0,00	51,00	176,00	19,82	0,00	46,04	579,96	296,65
20:00:00	397,25	201,42	187,50	401,50	0,00	55,00	176,00	25,42	0,00	48,65	579,96	298,25
21:00:00	386,17	131,16	199,19	337,46	0,00	41,00	105,75	25,41	0,00	34,65	505,47	318,74
22:00:00	382,96	117,20	215,75	337,46	0,00	41,00	91,65	25,55	0,00	34,61	505,47	319,05
23:00:00	383,45	112,80	212,44	337,46	0,00	41,00	98,70	14,10	0,00	37,48	505,47	317,78
24:00:00	378,44	109,34	226,24	337,46	0,00	41,00	84,60	24,74	0,00	34,82	505,47	316,29

## MAIG

Data/Hora	Consum elèctric inicial (kW)	Demanda refrigeració (kW)	Demanda calor (kW)	Potència tèrmica disponible (kW)	Potència tèrmica suport (kW)	Electricitat generada (kW)	Potència frigorífica absorció (kW)	Autoconsum chillers (kW)	Extra chillers (kW)	Electricitat generada sobrant (kW)	Energia combustible (kW)	Consum elèctric final (kW)
01:00:00	379,99	116,59	207,23	337,46	0,00	41,00	98,70	17,89	0,00	36,53	505,47	314,32
02:00:00	379,26	114,39	220,99	337,46	0,00	41,00	91,65	22,74	0,00	35,32	505,47	315,35
03:00:00	379,05	114,13	214,17	337,46	0,00	41,00	98,70	15,43	0,00	37,14	505,47	313,38
04:00:00	379,58	114,05	217,39	337,46	0,00	41,00	91,65	22,40	0,00	35,40	505,47	315,67
05:00:00	379,14	112,43	225,78	353,78	0,00	44,00	98,70	13,73	0,00	40,57	532,07	310,46
06:00:00	372,18	111,43	225,90	337,46	0,00	41,00	84,60	26,83	0,00	34,29	505,47	310,03
07:00:00	368,26	113,05	209,24	337,46	0,00	41,00	98,70	14,35	0,00	37,41	505,47	302,59
08:00:00	498,63	137,13	246,31	385,31	0,00	51,00	105,75	31,38	0,00	43,16	579,96	421,19
09:00:00	499,46	145,16	243,80	401,50	0,00	55,00	119,85	25,31	0,00	48,67	579,96	414,50
10:00:00	497,61	150,09	241,35	401,50	0,00	55,00	126,90	23,19	0,00	49,20	579,96	410,88
11:00:00	512,87	203,61	237,26	401,50	39,37	55,00	126,90	76,71	0,00	35,82	579,96	426,15
12:00:00	518,91	215,73	223,04	401,50	37,27	55,00	133,95	81,78	0,00	34,55	579,96	430,42
13:00:00	553,69	333,89	219,71	401,50	152,10	55,00	141,00	192,89	0,00	6,78	579,96	463,44
14:00:00	555,46	340,33	215,75	401,50	154,59	55,00	141,00	199,33	0,00	5,17	579,96	465,21
15:00:00	564,99	361,84	155,05	401,50	115,39	55,00	186,50	175,34	0,00	11,16	579,96	463,37
16:00:00	441,51	361,22	167,11	401,50	126,84	55,00	176,00	185,22	0,00	8,69	579,96	342,51
17:00:00	431,37	335,35	162,72	401,50	96,57	55,00	179,50	155,85	0,00	16,04	579,96	331,49
18:00:00	429,20	330,34	168,47	401,50	97,32	55,00	176,00	154,34	0,00	16,41	579,96	330,20
19:00:00	420,04	297,99	170,16	401,50	66,66	55,00	176,00	121,99	0,00	24,50	579,96	321,04
20:00:00	394,27	208,73	174,45	385,31	0,00	51,00	176,00	32,73	0,00	42,82	579,96	299,27
21:00:00	404,36	199,39	188,51	401,50	0,00	55,00	176,00	23,39	0,00	49,15	579,96	305,36
22:00:00	392,61	163,04	186,34	353,78	0,00	44,00	126,90	36,14	0,00	34,96	532,07	316,88
23:00:00	390,39	148,99	194,33	353,78	0,00	44,00	119,85	29,14	0,00	36,71	532,07	316,43
24:00:00	387,11	161,40	202,36	369,75	0,00	48,00	126,90	34,50	0,00	39,38	532,07	307,39

## JUNY

Data/Hora	Consum elèctric inicial (kW)	Demanda refrigeració (kW)	Demanda calor (kW)	Potència tèrmica disponible (kW)	Potència tèrmica suport (kW)	Electricitat generada (kW)	Potència frigorífica absorció (kW)	Autoconsum chillers (kW)	Extra chillers (kW)	Electricitat generada sobrant (kW)	Energia combustible (kW)	Consum elèctric final (kW)
01:00:00	438,94	247,96	154,29	401,50	0,75	55,00	186,50	61,46	0,00	39,63	579,96	337,31
02:00:00	425,57	202,33	163,38	369,75	0,00	48,00	176,00	26,33	0,00	41,42	532,07	333,57
03:00:00	425,81	203,82	172,60	385,31	0,00	51,00	176,00	27,82	0,00	44,04	579,96	330,81
04:00:00	415,40	166,54	171,64	353,78	0,00	44,00	141,00	25,54	0,00	37,62	532,07	336,15
05:00:00	413,65	160,41	176,05	337,46	0,00	41,00	126,90	33,51	0,00	32,62	505,47	340,92
06:00:00	402,15	154,75	180,48	337,46	0,00	41,00	119,85	34,90	0,00	32,27	505,47	331,18
07:00:00	634,08	238,81	149,85	401,50	0,00	55,00	190,00	48,81	0,00	42,80	579,96	531,58
08:00:00	838,50	221,84	192,11	401,50	12,46	55,00	176,00	45,84	0,00	43,54	579,96	739,50
09:00:00	931,33	323,87	209,99	401,50	132,36	55,00	176,00	147,87	0,00	18,03	579,96	832,33
10:00:00	943,11	359,49	210,09	401,50	168,08	55,00	176,00	183,49	0,00	9,13	579,96	844,11
11:00:00	964,96	404,85	207,35	401,50	210,70	55,00	176,00	220,00	8,85	0,00	579,96	863,75
12:00:00	986,09	515,69	205,20	401,50	319,39	55,00	176,00	220,00	119,69	0,00	579,96	857,17
13:00:00	1042,93	568,00	203,20	401,50	369,70	55,00	176,00	220,00	172,00	0,00	579,96	900,93
14:00:00	1056,42	614,75	200,59	401,50	413,84	55,00	176,00	220,00	218,75	0,00	579,96	902,73
15:00:00	1067,80	652,05	135,84	401,50	386,39	55,00	200,50	220,00	231,55	0,00	579,96	904,79
16:00:00	821,38	596,41	147,47	401,50	342,38	55,00	193,50	220,00	182,91	0,00	579,96	672,27
17:00:00	812,68	573,47	150,03	401,50	322,00	55,00	190,00	220,00	163,47	0,00	579,96	669,32
18:00:00	685,00	474,78	115,66	401,50	188,94	55,00	211,00	220,00	43,78	0,00	579,96	566,31
19:00:00	678,56	448,18	126,46	401,50	173,14	55,00	207,50	220,00	20,68	0,00	579,96	566,51
20:00:00	668,10	410,03	120,91	401,50	129,44	55,00	211,00	199,03	0,00	5,24	579,96	560,35
21:00:00	598,06	388,22	133,35	401,50	120,08	55,00	204,00	184,22	0,00	8,94	579,96	492,06
22:00:00	567,88	352,09	130,98	401,50	81,58	55,00	204,00	148,09	0,00	17,98	579,96	461,88
23:00:00	454,65	285,51	149,52	401,50	33,53	55,00	190,00	95,51	0,00	31,12	579,96	352,15
24:00:00	439,55	250,51	153,16	401,50	2,17	55,00	186,50	64,01	0,00	39,00	579,96	337,93

## JULIOL

Data/Hora	Consum elèctric inicial (kW)	Demanda refrigeració (kW)	Demanda calor (kW)	Potència tèrmica disponible (kW)	Potència tèrmica suport (kW)	Electricitat generada (kW)	Potència frigorífica absorció (kW)	Autoconsum chillers (kW)	Extra chillers (kW)	Electricitat generada sobrant (kW)	Energia combustible (kW)	Consum elèctric final (kW)
01:00:00	470,53	357,87	142,83	401,50	99,20	55,00	197,00	160,87	0,00	14,78	579,96	366,28
02:00:00	467,55	347,17	147,83	401,50	93,49	55,00	193,50	153,67	0,00	16,58	579,96	364,18
03:00:00	455,72	308,16	154,92	401,50	61,58	55,00	186,50	121,66	0,00	24,59	579,96	354,09
04:00:00	444,67	268,44	156,68	401,50	23,61	55,00	186,50	81,94	0,00	34,52	579,96	343,04
05:00:00	439,22	247,48	163,41	401,50	9,39	55,00	179,50	67,98	0,00	38,00	579,96	339,34
06:00:00	420,25	205,75	166,57	385,31	0,00	51,00	176,00	29,75	0,00	43,56	579,96	325,25
07:00:00	514,30	243,72	158,54	401,50	0,76	55,00	183,00	60,72	0,00	39,82	579,96	413,55
08:00:00	668,87	336,56	184,39	401,50	119,45	55,00	176,00	160,56	0,00	14,86	579,96	569,87
09:00:00	748,32	406,02	214,40	401,50	218,92	55,00	141,00	220,00	45,02	0,00	579,96	646,81
10:00:00	793,35	456,35	216,38	401,50	271,23	55,00	141,00	220,00	95,35	0,00	579,96	679,26
11:00:00	813,21	508,76	207,28	401,50	314,54	55,00	176,00	220,00	112,76	0,00	579,96	686,02
12:00:00	797,74	572,16	203,61	401,50	374,27	55,00	176,00	220,00	176,16	0,00	579,96	654,70
13:00:00	814,78	635,55	201,53	401,50	435,57	55,00	176,00	220,00	239,55	0,00	579,96	655,89
14:00:00	832,27	700,46	193,90	401,50	492,86	55,00	176,00	220,00	304,46	0,00	579,96	657,15
15:00:00	845,21	747,38	142,09	401,50	487,96	55,00	197,00	220,00	330,38	0,00	579,96	658,36
16:00:00	853,45	777,93	137,47	401,50	513,90	55,00	200,50	220,00	357,43	0,00	579,96	658,97
17:00:00	770,21	706,83	109,99	401,50	415,31	55,00	211,00	220,00	275,83	0,00	579,96	593,51
18:00:00	550,43	559,83	118,00	401,50	276,33	55,00	211,00	220,00	128,83	0,00	579,96	410,48
19:00:00	540,84	521,09	123,44	401,50	243,03	55,00	211,00	220,00	90,09	0,00	579,96	410,57
20:00:00	531,31	487,16	122,97	401,50	208,63	55,00	211,00	220,00	56,16	0,00	579,96	409,52
21:00:00	529,37	446,62	128,62	401,50	173,74	55,00	207,50	220,00	19,12	0,00	579,96	417,71
22:00:00	522,57	412,33	137,56	401,50	148,39	55,00	200,50	211,83	0,00	2,04	579,96	417,45
23:00:00	518,98	404,94	146,69	401,50	150,14	55,00	193,50	211,44	0,00	2,14	579,96	415,60
24:00:00	510,33	392,03	143,92	401,50	134,45	55,00	193,50	198,53	0,00	5,37	579,96	406,96

## AGOST

Data/Hora	Consum elèctric inicial (kW)	Demanda refrigeració (kW)	Demanda calor (kW)	Potència tèrmica disponible (kW)	Potència tèrmica suport (kW)	Electricitat generada (kW)	Potència frigorífica absorció (kW)	Autoconsum chillers (kW)	Extra chillers (kW)	Electricitat generada sobrant (kW)	Energia combustible (kW)	Consum elèctric final (kW)
01:00:00	521,49	434,87	143,58	401,50	176,96	55,00	193,50	220,00	21,37	0,00	579,96	412,77
02:00:00	514,88	410,16	148,78	401,50	157,44	55,00	190,00	220,00	0,16	0,00	579,96	412,34
03:00:00	509,82	391,03	156,98	401,50	146,51	55,00	186,50	204,53	0,00	3,87	579,96	408,20
04:00:00	510,36	390,40	158,78	401,50	147,68	55,00	183,00	207,40	0,00	3,15	579,96	409,61
05:00:00	506,43	375,84	163,29	401,50	137,63	55,00	179,50	196,34	0,00	5,92	579,96	406,56
06:00:00	469,58	354,48	169,35	401,50	122,33	55,00	176,00	178,48	0,00	10,38	579,96	370,58
07:00:00	670,23	355,72	149,87	401,50	104,09	55,00	190,00	165,72	0,00	13,57	579,96	567,73
08:00:00	892,18	387,91	185,54	401,50	171,95	55,00	176,00	211,91	0,00	2,02	579,96	793,18
09:00:00	1017,48	500,75	202,17	401,50	301,42	55,00	176,00	220,00	104,75	0,00	579,96	892,29
10:00:00	1043,81	596,37	202,76	401,50	397,63	55,00	176,00	220,00	200,37	0,00	579,96	894,72
11:00:00	1070,54	679,06	194,49	401,50	472,05	55,00	176,00	220,00	283,06	0,00	579,96	900,78
12:00:00	1040,64	713,08	196,99	401,50	508,56	55,00	176,00	220,00	317,08	0,00	579,96	862,37
13:00:00	1096,47	759,64	185,97	401,50	544,12	55,00	176,00	220,00	363,64	0,00	579,96	906,56
14:00:00	1111,32	804,07	193,74	401,50	596,31	55,00	176,00	220,00	408,07	0,00	579,96	910,30
15:00:00	1126,96	847,71	126,46	401,50	572,68	55,00	207,50	220,00	420,21	0,00	579,96	915,03
16:00:00	874,78	794,38	138,51	401,50	531,39	55,00	200,50	220,00	373,88	0,00	579,96	676,18
17:00:00	860,78	753,65	139,84	401,50	491,99	55,00	197,00	220,00	336,65	0,00	579,96	672,37
18:00:00	715,56	589,18	109,74	401,50	297,42	55,00	211,00	220,00	158,18	0,00	579,96	568,27
19:00:00	707,06	555,57	113,68	401,50	267,75	55,00	211,00	220,00	124,57	0,00	579,96	568,17
20:00:00	699,78	517,18	124,24	401,50	239,92	55,00	211,00	220,00	86,18	0,00	579,96	570,49
21:00:00	660,06	483,50	121,24	401,50	203,24	55,00	211,00	220,00	52,50	0,00	579,96	539,18
22:00:00	635,86	487,22	123,74	401,50	209,46	55,00	211,00	220,00	56,22	0,00	579,96	514,06
23:00:00	528,42	442,51	137,69	401,50	178,69	55,00	200,50	220,00	22,01	0,00	579,96	417,79
24:00:00	516,70	415,07	139,03	401,50	152,61	55,00	197,00	218,07	0,00	0,48	579,96	412,45

## SETEMBRE

Data/Hora	Consum elèctric inicial (kW)	Demanda refrigeració (kW)	Demanda calor (kW)	Potència tèrmica disponible (kW)	Potència tèrmica suport (kW)	Electricitat generada (kW)	Potència frigorífica absorció (kW)	Autoconsum chillers (kW)	Extra chillers (kW)	Electricitat generada sobrant (kW)	Energia combustible (kW)	Consum elèctric final (kW)
01:00:00	457,27	313,04	186,82	401,50	98,36	55,00	176,00	137,04	0,00	20,74	579,96	358,27
02:00:00	453,68	299,36	190,53	401,50	88,39	55,00	176,00	123,36	0,00	24,16	579,96	354,68
03:00:00	441,60	258,53	196,19	401,50	53,22	55,00	176,00	82,53	0,00	34,37	579,96	342,60
04:00:00	443,74	264,55	194,65	401,50	57,71	55,00	176,00	88,55	0,00	32,86	579,96	344,74
05:00:00	455,16	303,66	195,99	401,50	98,15	55,00	176,00	127,66	0,00	23,09	579,96	356,16
06:00:00	444,02	266,66	197,94	401,50	63,10	55,00	176,00	90,66	0,00	32,34	579,96	345,02
07:00:00	660,40	296,97	176,31	401,50	71,78	55,00	176,00	120,97	0,00	24,76	579,96	561,40
08:00:00	879,48	342,82	209,43	401,50	150,74	55,00	176,00	166,82	0,00	13,30	579,96	780,48
09:00:00	959,17	407,85	222,41	401,50	228,76	55,00	141,00	220,00	46,85	0,00	579,96	857,21
10:00:00	989,48	433,47	220,76	401,50	252,73	55,00	141,00	220,00	72,47	0,00	579,96	881,11
11:00:00	1006,18	458,99	214,47	401,50	271,96	55,00	141,00	220,00	97,99	0,00	579,96	891,43
12:00:00	977,07	507,92	207,09	401,50	313,51	55,00	176,00	220,00	111,92	0,00	579,96	850,09
13:00:00	1035,29	570,06	209,80	401,50	378,35	55,00	176,00	220,00	174,06	0,00	579,96	892,77
14:00:00	1044,98	589,74	208,75	401,50	396,99	55,00	176,00	220,00	193,74	0,00	579,96	897,54
15:00:00	1051,04	609,22	142,70	401,50	350,42	55,00	197,00	220,00	192,22	0,00	579,96	898,73
16:00:00	805,18	550,19	160,19	401,50	308,88	55,00	183,00	220,00	147,19	0,00	579,96	667,63
17:00:00	797,13	528,05	162,63	401,50	289,18	55,00	179,50	220,00	128,55	0,00	579,96	665,12
18:00:00	673,65	445,14	143,36	401,50	187,00	55,00	197,00	220,00	28,14	0,00	579,96	562,36
19:00:00	673,46	450,02	157,45	401,50	205,97	55,00	186,50	220,00	43,52	0,00	579,96	560,95
20:00:00	679,30	423,98	154,93	401,50	177,41	55,00	186,50	220,00	17,48	0,00	579,96	573,30
21:00:00	633,57	403,04	157,88	401,50	159,41	55,00	183,00	220,00	0,04	0,00	579,96	532,81
22:00:00	599,03	383,61	160,53	401,50	142,64	55,00	183,00	200,61	0,00	4,85	579,96	498,28
23:00:00	473,92	354,34	187,75	401,50	140,60	55,00	176,00	178,34	0,00	10,41	579,96	374,92
24:00:00	467,75	347,42	183,02	401,50	128,95	55,00	176,00	171,42	0,00	12,14	579,96	368,75



## OCTUBRE

Data/Hora	Consum elèctric inicial (kW)	Demanda refrigeració (kW)	Demanda calor (kW)	Potència tèrmica disponible (kW)	Potència tèrmica suport (kW)	Electricitat generada (kW)	Potència frigorífica absorció (kW)	Autoconsum chillers (kW)	Extra chillers (kW)	Electricitat generada sobrant (kW)	Energia combustible (kW)	Consum elèctric final (kW)
01:00:00	422,72	214,89	200,71	401,50	14,09	55,00	176,00	38,89	0,00	45,28	579,96	323,72
02:00:00	422,51	214,40	206,63	401,50	19,53	55,00	176,00	38,40	0,00	45,40	579,96	323,51
03:00:00	419,52	203,76	206,46	401,50	8,72	55,00	176,00	27,76	0,00	48,06	579,96	320,52
04:00:00	415,47	186,49	216,41	401,50	1,40	55,00	141,00	45,49	0,00	43,63	579,96	325,22
05:00:00	413,32	179,36	212,00	401,50	0,00	55,00	176,00	3,36	0,00	54,16	579,96	314,32
06:00:00	410,44	168,90	217,39	401,50	0,00	55,00	141,00	27,90	0,00	48,03	579,96	320,19
07:00:00	495,30	150,87	203,25	369,75	0,00	48,00	126,90	23,97	0,00	42,01	532,07	415,57
08:00:00	608,04	145,10	236,62	385,31	0,00	51,00	112,80	32,30	0,00	42,92	579,96	528,84
09:00:00	681,37	194,10	245,91	401,50	38,51	55,00	119,85	74,25	0,00	36,44	579,96	596,41
10:00:00	687,71	217,81	242,40	401,50	58,71	55,00	119,85	97,96	0,00	30,51	579,96	602,75
11:00:00	691,81	226,37	242,44	401,50	67,30	55,00	119,85	106,52	0,00	28,37	579,96	606,85
12:00:00	665,63	250,72	237,83	401,50	87,05	55,00	126,90	123,82	0,00	24,05	579,96	578,90
13:00:00	670,64	268,28	241,29	401,50	108,08	55,00	126,90	141,38	0,00	19,65	579,96	583,92
14:00:00	671,19	269,04	245,72	401,50	113,27	55,00	119,85	149,19	0,00	17,70	579,96	586,23
15:00:00	671,42	269,32	182,62	401,50	50,43	55,00	176,00	93,32	0,00	31,67	579,96	572,42
16:00:00	674,14	280,60	181,33	401,50	60,43	55,00	176,00	104,60	0,00	28,85	579,96	575,14
17:00:00	596,42	227,88	163,10	401,50	0,00	55,00	179,50	48,38	0,00	42,90	579,96	496,55
18:00:00	412,76	214,63	189,01	401,50	2,14	55,00	176,00	38,63	0,00	45,34	579,96	313,76
19:00:00	419,68	201,65	198,99	401,50	0,00	55,00	176,00	25,65	0,00	48,59	579,96	320,68
20:00:00	420,56	193,78	212,31	401,50	4,59	55,00	176,00	17,78	0,00	50,55	579,96	321,56
21:00:00	417,80	185,67	209,51	401,50	0,00	55,00	176,00	9,67	0,00	52,58	579,96	318,80
22:00:00	415,49	179,63	215,50	401,50	0,00	55,00	141,00	38,63	0,00	45,34	579,96	325,24
23:00:00	416,78	179,21	214,21	401,50	0,00	55,00	141,00	38,21	0,00	45,45	579,96	326,53
24:00:00	412,41	178,81	216,37	401,50	0,00	55,00	141,00	37,81	0,00	45,55	579,96	322,16



## NOVEMBRE

Data/Hora	Consum elèctric inicial (kW)	Demanda refrigeració (kW)	Demanda calor (kW)	Potència tèrmica disponible (kW)	Potència tèrmica suport (kW)	Electricitat generada (kW)	Potència frigorífica absorció (kW)	Autoconsum chillers (kW)	Extra chillers (kW)	Electricitat generada sobrant (kW)	Energia combustible (kW)	Consum elèctric final (kW)
01:00:00	393,81	90,53	300,70	401,50	0,00	55,00	77,55	12,98	0,00	51,75	579,96	319,43
02:00:00	393,63	90,50	297,05	401,50	0,00	55,00	84,60	5,90	0,00	53,52	579,96	317,48
03:00:00	394,74	90,49	304,37	401,50	0,00	55,00	77,55	12,94	0,00	51,76	579,96	320,35
04:00:00	413,52	90,51	305,90	401,50	0,00	55,00	77,55	12,96	0,00	51,76	579,96	339,13
05:00:00	418,12	90,52	300,19	401,50	0,00	55,00	77,55	12,97	0,00	51,76	579,96	343,73
06:00:00	434,70	90,71	309,37	401,50	0,00	55,00	70,00	20,71	0,00	49,82	579,96	362,20
07:00:00	467,24	91,74	381,29	401,50	71,52	55,00	0,00	91,74	0,00	32,07	579,96	412,24
08:00:00	553,25	92,24	344,21	401,50	34,96	55,00	45,50	46,74	0,00	43,31	579,96	486,87
09:00:00	630,05	90,82	353,38	401,50	42,71	55,00	38,50	52,32	0,00	41,92	579,96	565,42
10:00:00	672,21	92,14	345,18	401,50	35,81	55,00	45,50	46,64	0,00	43,34	579,96	605,83
11:00:00	668,35	93,36	303,08	401,50	0,00	55,00	77,55	15,81	0,00	51,05	579,96	593,96
12:00:00	675,10	103,38	281,77	385,31	0,00	51,00	84,60	18,78	0,00	46,30	579,96	602,95
13:00:00	649,93	127,16	273,00	401,50	0,00	55,00	98,70	28,46	0,00	47,88	579,96	570,26
14:00:00	651,87	135,79	271,63	401,50	5,92	55,00	98,70	37,09	0,00	45,73	579,96	572,19
15:00:00	648,70	143,22	269,59	401,50	11,31	55,00	105,75	37,47	0,00	45,63	579,96	567,26
16:00:00	647,48	145,22	210,24	369,75	0,00	48,00	119,85	25,37	0,00	41,66	532,07	569,52
17:00:00	654,11	153,56	214,52	369,75	0,00	48,00	119,85	33,71	0,00	39,57	532,07	576,15
18:00:00	593,35	113,10	211,32	337,46	0,00	41,00	98,70	14,40	0,00	37,40	505,47	527,67
19:00:00	419,21	110,35	247,91	369,75	0,00	48,00	91,65	18,70	0,00	43,32	532,07	348,30
20:00:00	419,72	108,31	253,00	369,75	0,00	48,00	91,65	16,66	0,00	43,83	532,07	348,81
21:00:00	416,28	91,49	263,77	369,75	0,00	48,00	84,60	6,89	0,00	46,28	532,07	347,13
22:00:00	410,82	91,03	279,47	385,31	0,00	51,00	84,60	6,43	0,00	49,39	579,96	338,67
23:00:00	402,16	90,76	282,89	385,31	0,00	51,00	77,55	13,21	0,00	47,70	579,96	331,77
24:00:00	416,81	90,74	282,43	385,31	0,00	51,00	77,55	13,19	0,00	47,70	579,96	346,43

## DESEMBRE

Data/Hora	Consum elèctric inicial (kW)	Demanda refrigeració (kW)	Demanda calor (kW)	Potència tèrmica disponible (kW)	Potència tèrmica suport (kW)	Electricitat generada (kW)	Potència frigorífica absorció (kW)	Autoconsum chillers (kW)	Extra chillers (kW)	Electricitat generada sobrant (kW)	Energia combustible (kW)	Consum elèctric final (kW)
01:00:00	473,10	98,78	284,70	385,31	0,00	51,00	77,55	21,23	0,00	45,69	579,96	402,71
02:00:00	473,89	97,68	293,48	401,50	0,00	55,00	84,60	13,08	0,00	51,73	579,96	397,74
03:00:00	474,13	96,65	291,09	401,50	0,00	55,00	84,60	12,05	0,00	51,99	579,96	397,98
04:00:00	474,80	95,60	302,52	401,50	0,00	55,00	77,55	18,05	0,00	50,49	579,96	400,41
05:00:00	475,41	95,03	301,19	401,50	0,00	55,00	77,55	17,48	0,00	50,63	579,96	401,03
06:00:00	475,25	94,96	306,10	401,50	0,00	55,00	77,55	17,41	0,00	50,65	579,96	400,86
07:00:00	473,65	94,45	361,23	401,50	54,17	55,00	0,00	94,45	0,00	31,39	579,96	418,65
08:00:00	687,65	93,74	327,04	401,50	19,28	55,00	56,00	37,74	0,00	45,57	579,96	618,65
09:00:00	883,12	93,66	321,34	401,50	13,50	55,00	63,00	30,66	0,00	47,33	579,96	812,37
10:00:00	919,92	101,90	321,94	401,50	22,34	55,00	63,00	38,90	0,00	45,28	579,96	849,17
11:00:00	921,87	100,98	308,48	401,50	7,96	55,00	70,00	30,98	0,00	47,26	579,96	849,37
12:00:00	946,11	112,73	297,69	401,50	8,92	55,00	84,60	28,13	0,00	47,97	579,96	869,96
13:00:00	906,25	116,51	274,32	401,50	0,00	55,00	98,70	17,81	0,00	50,55	579,96	826,57
14:00:00	939,34	122,04	277,10	401,50	0,00	55,00	98,70	23,34	0,00	49,16	579,96	859,66
15:00:00	904,81	128,68	269,99	401,50	0,00	55,00	98,70	29,98	0,00	47,51	579,96	825,14
16:00:00	905,38	130,25	215,07	353,78	0,00	44,00	105,75	24,50	0,00	37,87	532,07	834,95
17:00:00	674,56	127,73	243,33	385,31	0,00	51,00	112,80	14,93	0,00	47,27	579,96	595,36
18:00:00	680,10	104,47	254,80	369,75	0,00	48,00	91,65	12,82	0,00	44,80	532,07	609,19
19:00:00	607,07	94,50	248,56	353,78	0,00	44,00	84,60	9,90	0,00	41,53	532,07	541,92
20:00:00	588,26	91,16	250,01	353,78	0,00	44,00	84,60	6,56	0,00	42,36	532,07	523,11
21:00:00	586,55	91,01	255,55	353,78	0,00	44,00	77,55	13,46	0,00	40,64	532,07	523,16
22:00:00	546,30	90,93	258,19	353,78	0,00	44,00	77,55	13,38	0,00	40,65	532,07	482,91
23:00:00	524,72	90,85	261,84	353,78	0,00	44,00	70,00	20,85	0,00	38,79	532,07	463,22
24:00:00	426,32	90,74	293,85	385,31	0,00	51,00	70,00	20,74	0,00	45,81	579,96	357,82

En aquest apartat es mostren tots els resultats obtinguts del dimensionament general del sistema. En primer lloc es mostren mensualment les demandes tèrmiques (calefacció, ACS i refrigeració) i la cobertura que es té amb la instal·lació de trigeneració. Tant la caldera com la unitat ORC poden treballar amb càrregues parcials, podent-se adaptar a molts tipus de demanda.

En els mesos d'hivern on es té grans demandes de calor per la calefacció amb pics de prop de 400 kW, quasi el 100% de l'energia tèrmica provinent de les calderes es destina a cobrir aquesta demanda. La restant demanda per refrigeració cal cobrir-la amb el chillers, ja sigui mitjançant autoconsum elèctric o electricitat provinent de la xarxa elèctrica.

En els mesos d'estiu, on es té una baixa demanda tèrmica per calor, gran part de l'energia tèrmica extreta del condensador ORC es destina a les màquines d'absorció per refredar aigua. En hores de màxima calor durant els mesos de juny, juliol, agost i setembre caldrà fer ús dels chillers elèctrics degut a la limitació tèrmica de 220 kWf de les màquines d'absorció.

Pel que fa a la cobertura elèctrica, hi ha determinades hores del dia en què hi ha excés de generació d'electricitat per autoconsum dels chillers. En aquests casos es destinarà l'electricitat a altres subsistemes consumidors elèctrics com poden ser bombes, ventiladors, il·luminació, equips elèctrics, etc.

## 5. Viabilitat econòmica del sistema de trigeneració

### 5.1. Principis bàsics

En la instal·lació de trigeneració amb biomassa que s'estudia, l'objectiu principal és deixar de consumir energies no renovables i reduir els costos energètics globals del sistema. Per l'anàlisi econòmica de viabilitat del sistema es requereix determinar l'estalvi dels costos energètics i el valor de la inversió requerida.

Es necessita determinar els consums de combustible i electricitat amb i sense la trigeneració i aplicar els preus corresponents al combustible. A més a més també cal estimar el cost de manteniment de la instal·lació proposada.

L'hospital actualment funciona consumint energia elèctrica de la xarxa per cobrir les necessitats d'enllumenat, equips, màquines i els compressors generadors de fred. Per cobrir les necessitats de calor, l'hospital disposa d'una caldera de gas natural de 1324 kW que s'adapta a la demanda instantània.

### 5.2. Costos actuals

Els principals costos que es tenen en l'actualitat són el consum de gas natural per la caldera i l'electricitat que es compra a la xarxa elèctrica.

#### 5.2.1. Consum de gas natural

El gas natural per a grans consumidors està regulat per l'Estat. L'Estat el calcula fixant-se en el preu d'altres combustibles derivats del petroli. El preu també varia segons el consum anual de gas de l'edifici.

Segons el full informatiu dels preus de l'energia de l'Institut Català de l'Energia publicat el 25 de maig de 2015, les tarifes de gas natural són les que es mostren a continuació.

En primer lloc existeixen una sèrie de peatges pel gas natural:

#### 1) Peatge de regasificació

Tfr: Terme fix del peatge de regasificació = 0,019612 €/kWh/dia/mes

Tvr: Terme variable del peatge de regasificació = 0,000116 €/kWh/dia/mes

#### 2) Peatge de descàrrega de vaixells

Tfd: Terme fix del peatge de descàrrega de GNL = 16.988 €/vaixell

Tvd: Terme variable del peatge de descàrrega de GNL = 0,000035 €/kWh

### 3) Peatge de càrrega de cisternes

Tfc: Terme fix del peatge de descàrrega de GNL en cisternes = 0,028806  
€/ (kWh/dia)/mes

Tvc: Terme variable del peatge de descàrrega de GNL en cisternes = 0,000171 €/kWh

### 4) Peatge de transvasament de GNL a vaixells o de posada en fred des de plantes de regasificació

Tranvasament: Tf=176,841 €/operació

Tv=0,001563 €/kWh

Posada en fred: Tf=71,61 €/operació

Tv=0,001563 €/kWh

### 5) Peatge de transport i distribució en ferm

$P_{TD} = Trc + Tc$

$P_{TD}$ : Peatge de transport i distribució

Trc: Terme de reserva de capacitat =  $Tf \cdot Q_e$

Tf: Terme fix de reserva de capacitat Trc=0,010848 €/ (kWh/dia)/mes

$Q_e$ : Cabal diari per facturar

Tc: Terme de conducció

Els preus dels termes de conducció (Tc) estan tabulats en funció de la pressió de disseny i el nivell de consum anual. Per una potència d'entre 500000-5000000 kWh/any i una pressió de servei d'entre 4 bar i 60 bar, es té un terme fix de 0,068683 €/ (kWh/dia)/mes i un terme variable de 0,001543 €/kWh.

### 6) Cànon d'emmagatzematge subterrani

Tf: Terme fix del cànon d'emmagatzematge = 0,000411 €/kWh/mes

Tvi: Terme d'injecció del cànon d'emmagatzematge = 0,000244 €/kWh

Tv: Terme d'extracció del cànon d'emmagatzematge = 0,000131 €/kWh

### 7) Cànon d'emmagatzematge de GNL

Tv: Terme variable del cànon d'emmagatzematge = 0,0324 €/MWh/dia

### 8) Peatge de transport i distribució sense interrupció

Tf: Terme fix de reserva de capacitat Trc: el que estigui en vigor (€/kWh/dia/mes)

Tc: Terme de conducció. Resultat de multiplicar el terme de conducció del peatge de transport i distribució ferm en vigor per un coeficient d'interrumpibilitat = 0,7.

Segons el BOE publicat el 31 de març de 2015, les tarifes a partir d'aquesta data són les mostrades a la taula 44:

Descripció	Preu fix (€/client)/mes	Preu variable (cent/kWh)
<b>T.1. Consum inferior o igual a 5000 kWh/any</b>	4,36	5,374623
<b>T.2. Consum superior a 5000 kWh/any i inferior o igual a 50000 kWh/any</b>	8,84	4,687223
<b>T.3. Consum superior a 50000 kWh/any i inferior o igual a 100000 kWh/any</b>	60,38	4,067277
<b>T.4. Consum superior a 100000 kWh/any</b>	181,72	3,756777

Taula 44. Tarifes gas

\*Cost de la matèria prima= 2,272466 cent/kWh

Els consums anuals de gas natural que es tenen a l'hospital actualment són els de la taula 45:

MES	Consum de gas (kWh)	Cost fix (€)	Cost variable (€)	Cost total (€)
Gener	276856,03	181,72	16692,32303	16874,04303
Febrer	231547,71	181,72	13960,57427	14142,29427
Març	239670,49	181,72	14450,31615	14632,03615
Abril	217396,88	181,72	13107,38639	13289,10639
Maig	206227,47	181,72	12433,9553	12615,6753
Juny	187371,50	181,72	11297,08323	11478,80323
Juliol	184242,31	181,72	11108,41655	11290,13655
Agost	187576,86	181,72	11309,46495	11491,18495
Setembre	189224,42	181,72	11408,80005	11590,52005
Octubre	214618,88	181,72	12939,89406	13121,61406
Novembre	239914,66	181,72	14465,03755	14646,75755
Desembre	273905,76	181,72	16514,44366	16696,16366
<b>TOTAL</b>	<b>2648552,95</b>	<b>2180,64</b>	<b>159687,70</b>	<b>161868,34</b>

Taula 45. Costos gas

El consum anual de combustible actual és de 2648552,95 kWh, per tant s'aplica la tarifa T.4 amb un preu fix 181,72 €/mes i un preu variable de 3,756777 cent/kWh més el cost de la matèria prima. Resultant una despesa anual de **161868,34 €**.

### 5.2.2. Consum d'electricitat

L'hospital té una utilització elèctrica durant tots els dies de l'any i totes les hores, per tant entra dins el grup de tarifes amb llarga utilització. Es suposa una potència contractada de 700 kW basats amb la potència màxima utilitzada al mes d'agost. Al tenir una potència contractada molt superior a 15 kW, entra dins el grup d'alta tensió amb una tensió nominal inferior a 36 kV (taula 46).

Descripció	Terme de potència (€/kW)/mes	Terme d'energia (€/kWh)
No superior a 36 kV	13,192136	0,062831
Major de 36 kV i inferior a 72.5 kV	12,335805	0,083706
Major de 72.5 kV i inferior a 145 kV	11,957785	0,080869
Major de 145 kV	11,595193	0,014396

Taula 46. Tarifes elèctriques

Per tant, la tarifa fixa mensual per l'hospital és de 13,192136 €/kw/mes i el terme d'energia de 0,062831 €/kWh.

MES	Consum elèctric (kWh)	Terme de potència (€)	Terme d'energia (€)	Cost total (€)
Gener	453831,15	9.234,49	28.514,67	37.749,16
Febrer	406564,25	9.234,49	25.544,84	34.779,33
Març	450654,19	9.234,49	28.315,05	37.549,55
Abril	409234,27	9.234,49	25.712,60	34.947,09
Maig	436397,69	9.234,49	27.419,30	36.653,80
Juny	452755,80	9.234,49	28.447,10	37.681,59
Juliol	493786,99	9.234,49	31.025,13	40.259,63
Agost	507653,28	9.234,49	31.896,36	41.130,86
Setembre	458746,36	9.234,49	28.823,492	38.057,99
Octubre	430444,42	9.234,49	27.045,25	36.279,75
Novembre	403700,74	9.234,49	25.364,92	34.599,42
Desembre	437251,61	9.234,49	27.472,96	36.707,45
<b>TOTAL</b>	<b>5341020,77</b>	<b>110.813,94</b>	<b>335.581,68</b>	<b>446.395,62</b>

Taula 47. Costos elèctrics

El consum anual d'electricitat és de 5341020,77 kWh (taula 47), que fent els càlculs de termes de potència elèctrica contractada i potència elèctrica consumida resulten una despesa anual de **446.395,62 €**.

Finalment el cost energètic anual de l'hospital actual és la suma de consum de gas i consum d'electricitat:

$$\text{Cost energètic anual} = 161.868,34 + 446.395,62 = \mathbf{608.263,95 \text{ €}}$$

### 5.3. Costos amb trigeneració

En la trigeneració, els costos energètics estaran associats amb el consum de biomassa dels equips de trigeneració i el costos de compra d'electricitat a la xarxa.

#### 5.3.1. Consum de biomassa

En la instal·lació proposada la biomassa és el substituït net del gas natural. Per satisfer la mateixa demanda tèrmica que la instal·lació de gas necessita generar més kWh, però el preu del kWh de la biomassa és inferior al del gas.

1 kWh de gas = 0,03757 €/kWh

1 kWh de biomassa = 0,028 €/kWh (100 €/t)

A partir d'aquestes dades es pot calcular el cost total anual de biomassa i els resultats es mostren a la taula 48:

MES	Consum biomassa (kWh)	Cost total biomassa (€)
Gener	418937,92	11.730,26
Febrer	370673,63	10.378,86
Març	405380,72	11.350,66
Abril	389062,05	10.893,74
Maig	409451,07	11.464,63
Juny	406237,35	11.374,65
Juliol	428398,17	11.995,15
Agost	430984,05	12.067,55
Setembre	411483,59	11.521,54
Octubre	410472,65	11.493,23
Novembre	389945,29	10.918,47
Desembre	418634,64	11.721,77
<b>TOTAL</b>	<b>4889661,14</b>	<b>136.910,51</b>

Taula 48. Costos biomassa

El cost total anual de la biomassa és inferior al del gas natural però falta saber l'estalvi elèctric que es té per fer un balanç general. S'ha de tenir en compte que en la instal·lació proposada s'elimina un percentatge del consum elèctric dels chillers gràcies a les màquines d'absorció i que en determinades hores es genera més electricitat que la consumeixen les màquines tèrmiques. Aquest percentatge anirà destinat a reduir la factura elèctrica mitjançant l'autoconsum.



### 5.3.2. Consum d'electricitat

MES	Consum elèctric (kWh)	Terme de potència (€)	Terme d'energia (€)	Cost total (€)
Gener	406732,38	9.234,50	25.555,40	34.789,90
Febrer	363226,49	9.234,50	22.821,88	32.056,38
Març	400899,43	9.234,50	25.188,91	34.423,41
Abril	359221,03	9.234,50	22.570,22	31.804,71
Maig	378254,99	9.234,50	23.766,14	33.000,63
Juny	385644,35	9.234,50	24.230,42	33.464,92
Juliol	409050,06	9.234,50	25.701,02	34.935,52
Agost	422143,34	9.234,50	26.523,69	35.758,18
Setembre	387259,20	9.234,50	24.331,88	33.566,38
Octubre	373498,39	9.234,50	23.467,28	32.701,77
Novembre	357887,83	9.234,50	22.486,45	31.720,95
Desembre	390139,56	9.234,50	24.512,86	33.747,35
<b>TOTAL</b>	<b>4633957,05</b>	<b>110.813,94</b>	<b>291.156,16</b>	<b>401.970,10</b>

Taula 49. Costos elèctrics

El consum elèctric s'ha vist **reduït en 44.425,52 €** degut al citat anteriorment, les màquines d'absorció supleixen part de la demanda de fred anual i l'energia elèctrica sobrant en determinades hores destinada a l'autoconsum rebaixa la factura elèctrica.

El cost energètic anual amb trigeneració és la suma del cost de consum de biomassa i el cost de consum elèctric, obtenint un **estalvi anual total de 69.383,34 €**:

$$\text{Cost energètic anual} = 136.910,51 + 401.970,10 = \mathbf{538.880,61 \text{ €}}$$

$$\text{Estalvi energètic anual} = 608.263,95 - 538.880,61 = \mathbf{69.383,34 \text{ €}}$$

## 5.4. Inversió inicial

Els equips principals de la inversió inicial són:

- Calderes de biomassa: S'estima un cost de 160 €/kWt
- Turbina de vapor ORC: S'estima un cost de 1.700 €/kWe
- Màquines d'absorció: S'estima un cost de 260 €/kW de fred
- Sistemes elèctrics i equips hidràulics (intercanviadors de calor, bombes,...) : S'estima un cost del 15% de la inversió amb equips tèrmics
- Instal·lació dels equips: S'estima amb un 10% del cost dels equips tèrmics
- Obra civil: S'estima en el 5% de la inversió d'equips tèrmics
- Direcció d'obra: S'estima un cost del 4% de la inversió amb equips tèrmics
- Contingències: S'estima un cost del 5% de la suma de tots els costos
- Manteniment anual trigeneració: S'estima un cost de 0,005 €/kWh anual, amb 9523618,20 kWh consumits anualment.

En la taula 50 es mostren els costos desglossats de la inversió inicial:

Descripció inversió	Cost unitari (€/kW)	Potència (kW)	Cost total (€)
Caldera biomassa EOS 45	180	523	94.140 €
Caldera biomassa EOS 15	180	93	16.740 €
Unitat ORC	1.700	55	93.500 €
Màquina absorció HVAR L-Series 141	260	141	36.660 €
Màquina absorció HVAR L-Series 70	260	70	18.200 €
<b>Subtotal màquines:</b>	-	-	<b>259.240 €</b>
Sistemes elèctrics i hidràulics	-	-	38.886 €
Instal·lació dels equips	-	-	25.924 €
Obra civil	-	-	12.962 €
Direcció d'obra	-	-	10.370 €
<b>Subtotal obra i sistemes:</b>	-	-	<b>88.142 €</b>
<b>Total:</b>	-	-	<b>347.382 €</b>
Contingències	-	-	17.369 €
<b>TOTAL inversió inicial:</b>	-	-	<b>364.751 €</b>
Manteniment anual trigeneració	0,005	9523618,2	47.618,09 €

Taula 50. Inversió inicial

## 5.5. Fluxos de caixa

Donat que l'objectiu de l'hospital no és guanyar diners a partir de l'energia sinó reduir-ne la demanda anual i fer-ho consumint energies renovables, l'anàlisi dels fluxos de caixa es basaran en l'estalvi energètic que suposa la instal·lació de trigeneració respecte l'actual. L'anàlisi es farà per una vida útil dels equips de 10 anys.

També es comptabilitzaran uns costos derivats del manteniment anual de la instal·lació que es suposaran en un augment anual constant del 2,5%.

Un cop coneguts tots els fluxos de caixa durant 10 anys dels dos escenaris estudiats, es pot calcular el valor actual net (VAN) i la taxa interna de rentabilitat (TIR).

El valor actual net és un mètode de valoració d'inversions que es pot definir com la diferència entre el valor actualitzat dels ingressos i despeses generats per una inversió. Proporciona la mesura de la rentabilitat del projecte. Analíticament s'expressa com la diferència entre la inversió inicial i el valor actualitzat en el moment de ingressos o despeses futures (cash flows).

$$VAN = \sum_{n=1}^n \frac{Q_n}{(1+i)^n} - I_0$$

On  $Q_n$ = fluxos de caixa en cada període  $n$ ;  $I_0$ = inversió inicial;  $n$ = número d'anys;  $i$ = tipus d'interès.

La taxa de rentabilitat de la inversió la calcularem en base al bo espanyol a 10 anys, que es situa al 2,32% actualment i hi afegirem un percentatge de risc.

- Escenari optimista: En aquest cas, a la taxa base del 2,32% l'hi afegirem una taxa de risc addicional del 2% arribant a una taxa total de 4,32%.
- Escenari pessimista: En aquest cas, a la taxa base del 2,32% l'hi afegirem una taxa addicional en què els fluxos de caixa no estiguin completament assegurats del 5% arribant a una taxa total de 7,32%.

El TIR d'una inversió és la mitjana geomètrica dels rendiments esperats en el futur d'una inversió i que implica l'oportunitat de reinvertir en el projecte. Per obtenir aquest valor només cal igualar el  $VAN=0$ . El TIR és un indicador de la rentabilitat del projecte i s'utilitza per acceptar o rebutjar un projecte d'inversió.

$$VAN = \sum_{n=1}^n \frac{Q_n}{(1+TIR)^n} - I_0 = 0$$

### INSTAL·LACIÓ AMB TRIGENERACIÓ

Any	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inv. Inicial	-364.751,00 €	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cost biomassa	-	136.910,51 €	136.910,51 €	136.910,51 €	136.910,51 €	136.910,51 €	136.910,51 €	136.910,51 €	136.910,51 €	136.910,51 €	136.910,51 €
Cost electricitat	-	401.970,10 €	401.970,10 €	401.970,10 €	401.970,10 €	401.970,10 €	401.970,10 €	401.970,10 €	401.970,10 €	401.970,10 €	401.970,10 €
Manteniment	-	47.618,09 €	48.570,45 €	49.541,86 €	50.532,70 €	51.543,35 €	52.574,22 €	53.625,70 €	54.698,22 €	55.792,18 €	56.908,03 €
Costos totals	-	586.498,70 €	587.451,06 €	588.422,47 €	589.413,31 €	590.423,96 €	591.454,83 €	592.506,31 €	593.578,83 €	594.672,79 €	595.788,64 €

Taula 51. Inversió i costos amb trigeneració

### INSTAL·LACIÓ SENSE TRIGENERACIÓ

Any	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cost gas natural	-	161.868,34 €	161.868,34 €	161.868,34 €	161.868,34 €	161.868,34 €	161.868,34 €	161.868,34 €	161.868,34 €	161.868,34 €	161.868,34 €
Cost electricitat	-	446.395,62 €	446.395,63 €	446.395,64 €	446.395,65 €	446.395,66 €	446.395,67 €	446.395,68 €	446.395,69 €	446.395,70 €	446.395,71 €
Manteniment	-	35.000,00 €	35.700,00 €	36.414,00 €	37.142,28 €	37.885,13 €	38.642,83 €	39.415,68 €	40.204,00 €	41.008,08 €	41.828,24 €
Costos totals	-	643.263,96 €	643.963,97 €	644.677,98 €	645.406,27 €	646.149,13 €	646.906,84 €	647.679,70 €	648.468,03 €	649.272,12 €	650.092,29 €

Taula 52. Inversió i costos sense trigeneració

### CASH FLOWS

Any	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cash flows (Q <sub>n</sub> )	-364.751,00 €	56.765,26 €	56.512,91 €	56.255,51 €	55.992,96 €	55.725,16 €	55.452,01 €	55.173,39 €	54.889,20 €	54.599,33 €	54.303,65 €

Taula 53. Cash flows

## 5.6. Valor Actual Net (VAN)

Com s'ha descrit anteriorment, el valor actual net es calcularà amb dos escenaris, un d'optimista i un de pessimista. En el primer la taxa de rentabilitat és del 4,32% i en el segon del 7,32%. La inversió inicial és de 364.751,00 €.

### Cas optimista (i=4,32%)

$$VAN = \sum_{n=1}^n \frac{Q_n}{(1+i)^n} - I_0$$

$$VAN = \sum_{n=1}^{10} \frac{Q_n}{(1+0.0432)^{10}} - 364.751,00$$

$$VAN = 79.610,16 \text{ €}$$

### Cas pessimista (i=7,32%)

$$VAN = \sum_{n=1}^n \frac{Q_n}{(1+i)^n} - I_0$$

$$VAN = \sum_{n=1}^{10} \frac{Q_n}{(1+0.0732)^{10}} - 364.751,00$$

$$VAN = 20.910,96 \text{ €}$$

El valor actual net de la instal·lació en el millor cas considerat resulta de 79.610,16 € que es bastant considerable comptant que anualment es recupera més de 50.000 €. En el pitjor cas, el VAN és de 20.910,96 € seguint sent positiu però inferior a l'anterior.

## 5.7. Taxa Interna de Rentabilitat (TIR)

La taxa de rentabilitat es calcula igualant el VAN=0, resultant el següent valor:

$$VAN = \sum_{n=1}^n \frac{Q_n}{(1+TIR)^n} - I_0 = 0$$

$$VAN = \sum_{n=1}^{10} \frac{Q_n}{(1+TIR)^{10}} - 364.751,00 = 0$$

$$TIR = 8,564\%$$

Pel que fa a la taxa interna de rentabilitat, resulta del 8,564%, què vol dir que la inversió és rentable fins a una taxa de descompte o inflació del 8,564%.

## 5.8. Període de retorn de la inversió (Pay-back)

El pay back o període de retorn és un criteri de valoració d'inversions que permet seleccionar un determinat projecte en base a quant de temps es tardarà a recuperar la inversió inicial mitjançant els fluxos de caixa. La manera de calcular-ho és mitjançant la suma acumulada de fluxos de caixa fins que s'iguali a la inversió inicial.

En la taula 54 i la figura 83 es mostra l'evolució dels fluxos de caixa mostrant el període de retorn de la inversió.

Any	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Pay-back</b>	-364.751,00 €	-307.985,74 €	-251.472,83 €	-195.217,32 €	-139.224,36 €	-83.499,20 €	-28.047,19 €	27.126,20 €	82.015,40 €	136.614,73 €	190.918,38 €

Taula 54. Pay-back trigeneració

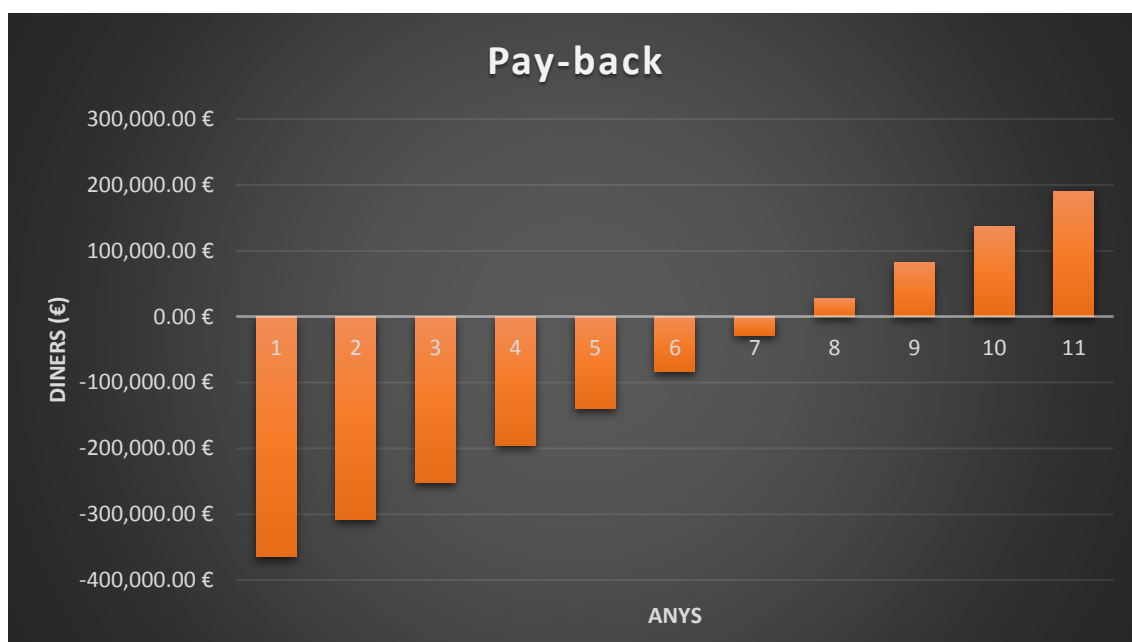


Figura 83. Anys de retorn inversió

S'observa un període de retorn de la inversió de 7 anys i 6 mesos. A partir d'aquesta data ja es comença a crear benefici empresarial.



## 6. Impacte ambiental

### 6.1. Emissions atmosfèriques

#### GAS NATURAL

Les calderes de gas expulsen una sèrie de gasos a l'atmosfera provinents de la combustió que són nocius per les persones i el medi ambient. Les principals substàncies que emeten són:

- Diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ )
- Monòxid de carboni (CO)
- Hidrocarburs no cremats ( $\text{CH}_x$ )
- Monòxid de nitrogen ( $\text{NO}_x$ )
- Òxid de nitrògen ( $\text{N}_2\text{O}$ )
- Diòxid de sofre ( $\text{SO}_2$ )
- Mercuri (Hg)
- Plom (Pb)

El monòxid de carboni (CO) i els hidrocarburs no cremats ( $\text{CH}_x$ ) es produeixen quan hi ha poc oxigen durant la fase de combustió o per defecte de la mescla aire/combustible. Si l'oxigen de la cambra de combustió és escàs, el CO generat en la combustió no s'oxida per donar  $\text{CO}_2$  i per tant s'emet monòxid de carboni.

Els òxids de nitrògen ( $\text{NO}_x$ ) es produeixen quan la combustió arriba a pics de temperatura en la cambra.

Les emissions de  $\text{SO}_2$  són molt nocives pel medi ambient, ja que contribueixen en gran mesura a provocar la pluja àcida.

Altres elements com el mercuri o el plom són quasi inexistent però apareixen petites quantitats després de la combustió.

En la taula 84 es mostra els kilograms de cada substància que es produeixen cada any en l'estat actual (sense biomassa).

Gasos combustió	$\text{CO}_2$	CO	$\text{CH}_x$	$\text{NO}_x$	$\text{N}_2\text{O}$	$\text{SO}_2$	Hg	Pb
Quantitat anual (kg)	3933584,72	4812,85	9210,04	6512,19	74,52	23167,98	0,11	0,20

Figura 84. Emissions atmosfèriques amb gas natural



## BIOMASSA

L'aprofitament de la massa forestal residual, restes agrícoles,... com a combustible per a calderes de biomassa és una de les solucions per facilitar el sanejament de boscos i terrenys agrícoles on la crema al mateix camp molts cops provoca incendis forestals.

Respecte a les aplicacions energètiques, les calderes de biomassa no produeixen fums com les antigues xemeneies de llenya i les emissions són comparables als sistemes moderes de gasoil i gas. La composició de les emissions és bàsicament el  $\text{CO}_2$  captat per la planta o fruit d'origen de la biomassa i  $\text{H}_2\text{O}$ , amb una baixa presència de compostos de nitrogen i baixes o nul·les quantitats de sofre (el gran problema dels altres combustibles).

El major avantatge és el balanç neutre de les emissions de  $\text{CO}_2$  al tancar el cicle del carboni que les plantes absorbeixen durant el seu creixement (figura 85).

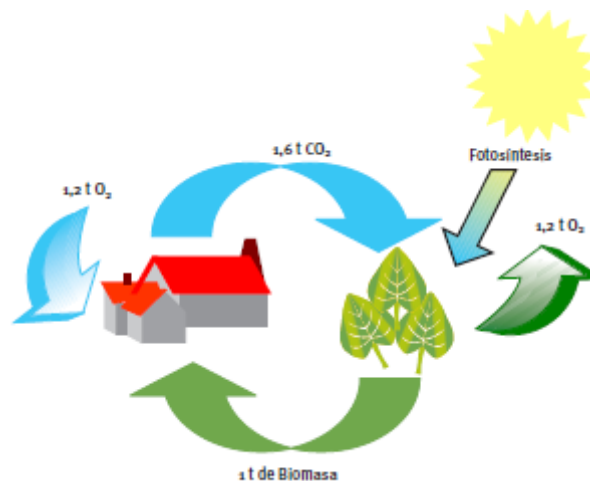


Figura 85. Cicle del  $\text{CO}_2$  (font [4])

## 6.2. Vibracions

Els equips més propensos a provocar vibracions són la turbina, els generadors síncrons i els transformadors de potència. Aquests elements s'han de muntar sobre unes bancades adequades per no transmetre les seves vibracions al forjat. Existeix una normativa per aïllament mecànic que especifica tots els elements necessaris per minimitzar les vibracions.

### 6.3. Sorolls

Existeixen dos punts en els que es genera el major nivell de soroll de la instal·lació:

#### Conducte de gasos d'escapament

La pressió acústica a que arriben els gasos d'escapament a 1m de distància és de 100 dB, tot i que la caldera incorpora parets aïllades acústicament i silenciadors per un nivell sonor de 75 dB a una distància de 10 m.

#### Torres de refrigeració

Segons els fabricant, les torres de refrigeració emeten una determinada potència sonora segons la potència tèrmica.

- Nivell sonor a 15m de la torre:
- 1) Torre chillers: 60 dB
  - 2) Torre absorció 1: 54 dB
  - 3) Torre absorció 2: 48 dB

Però les torres de refrigeració són equips que estan situats a l'exterior de l'edifici i amb nivells assequibles de soroll.



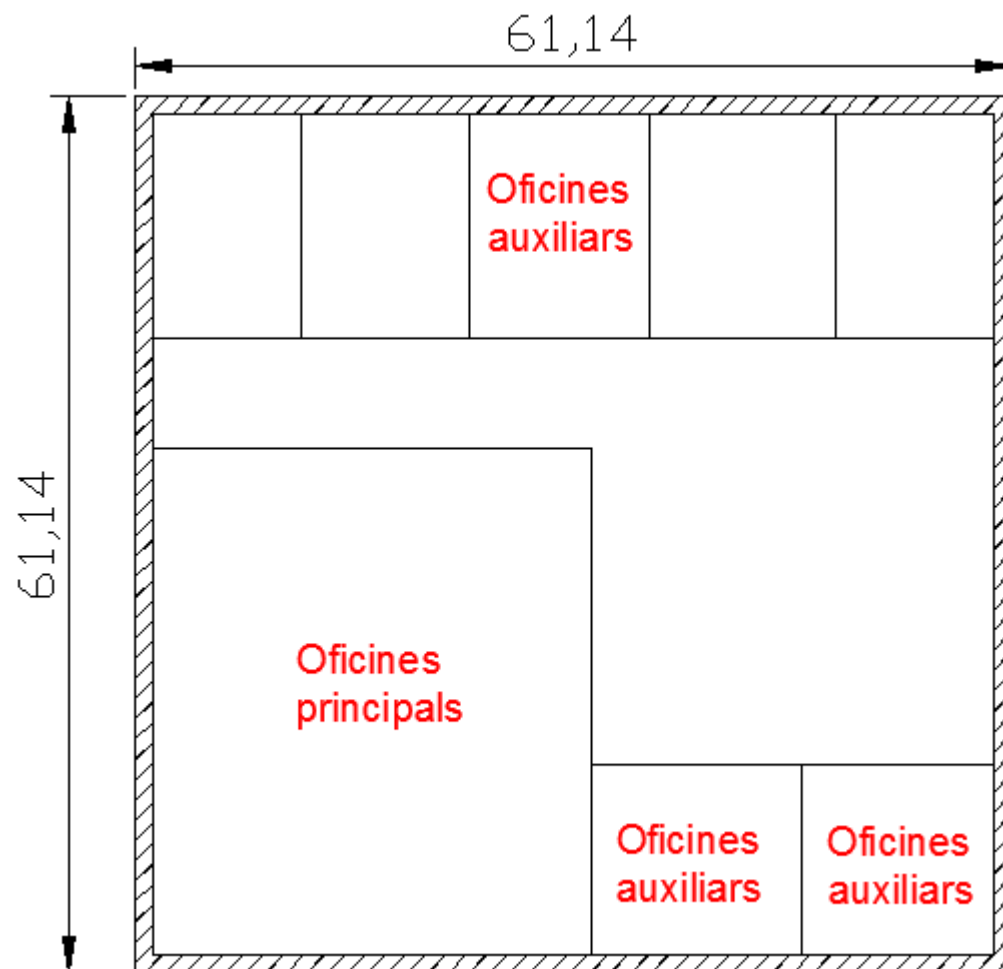
## 7. Plànols


### ÍNDEX DE PLÀNOLS

- Planta baixa
- Planta 1
- Planta 2
- Planta 3
- Planta 4
- Planta 5
- Vista general
- Esquema d'instal·lacions




**PLANTA BAIXA**



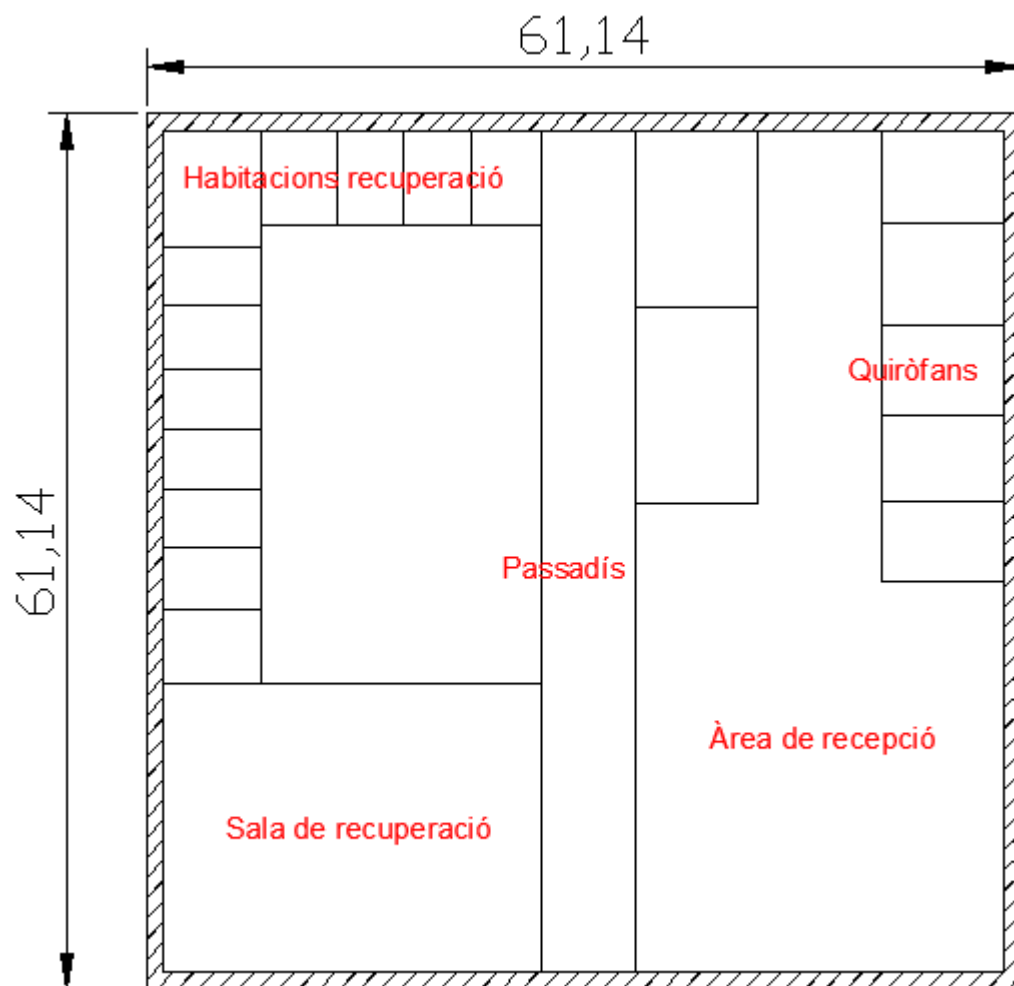
 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	Projecte Final de Grau: Instal·lació de trigeneració amb biomassa	Plànol 1/ 8
Planta baixa  Escala: 1:550 Data: 15/06/2015	Estudiant d'Enginyeria Mecànica:  Jaume Farré Farré	


**PRIMERA PLANTA**



	Projecte Final de Grau: Instal·lació de trigeneració amb biomassa	Plànol 2/8
Primera Planta  Escala: 1:550 Data: 15/06/2015	Estudiant d'Enginyeria Mecànica:  Jaume Farré Farré	

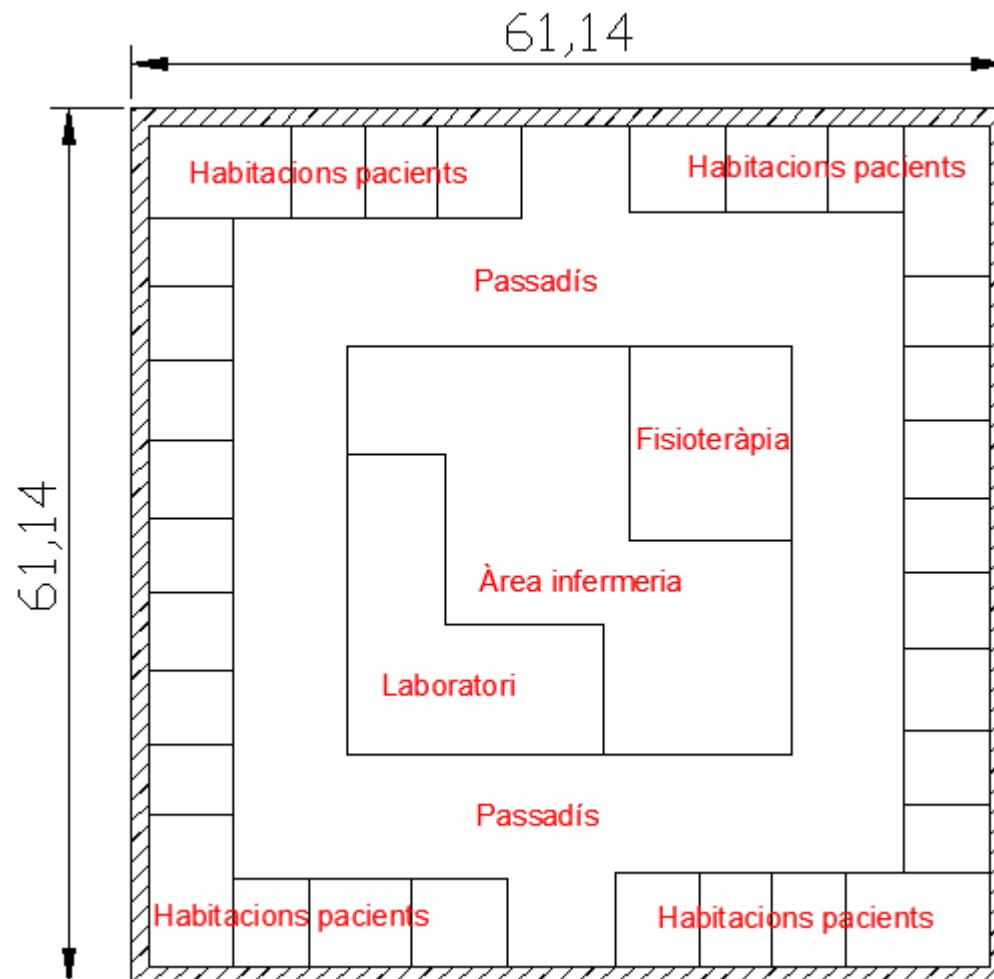
**SEGONA PLANTA**




 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	Projecte Final de Grau: Instal·lació de trigeneració amb biomassa	Plànol 3/8
Segona Planta  Escala: 1:550 Data: 15/06/2015	Estudiant d'Enginyeria Mecànica:  Jaume Farré Farré	

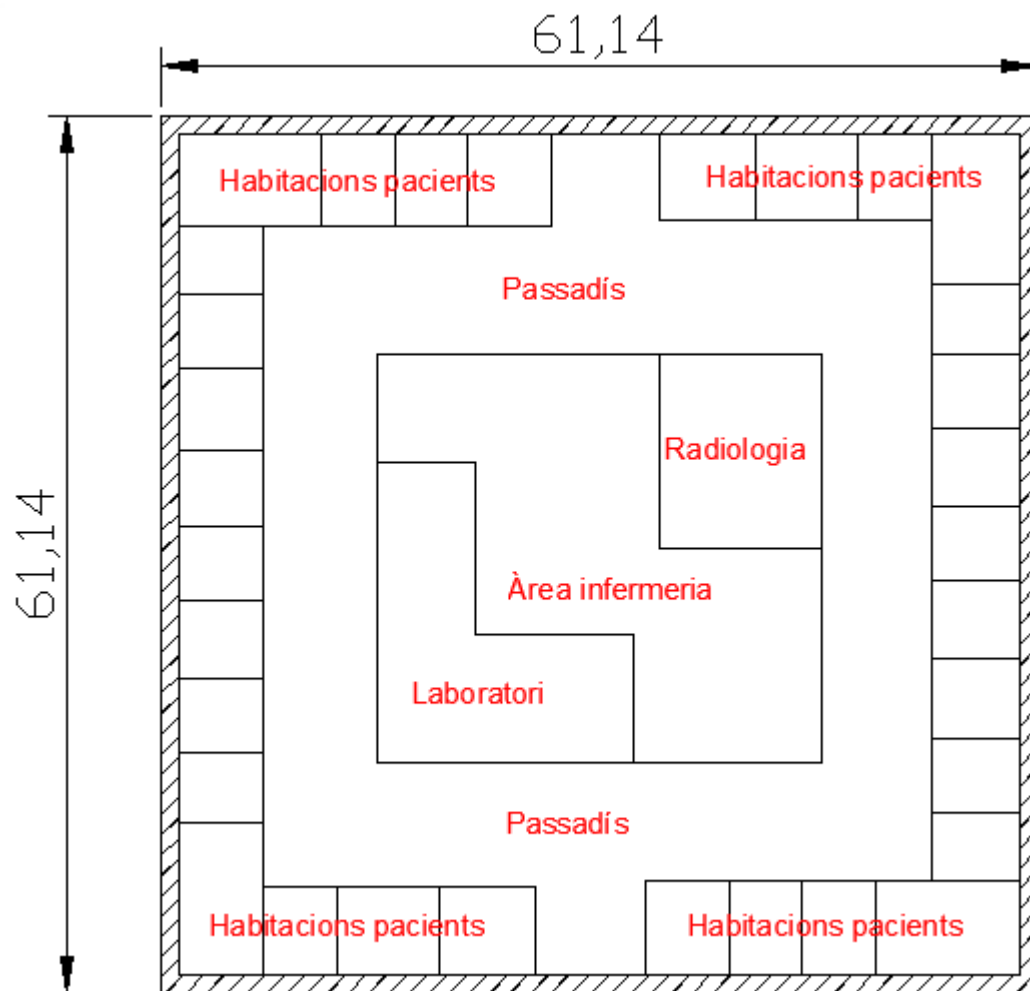



### TERCERA PLANTA



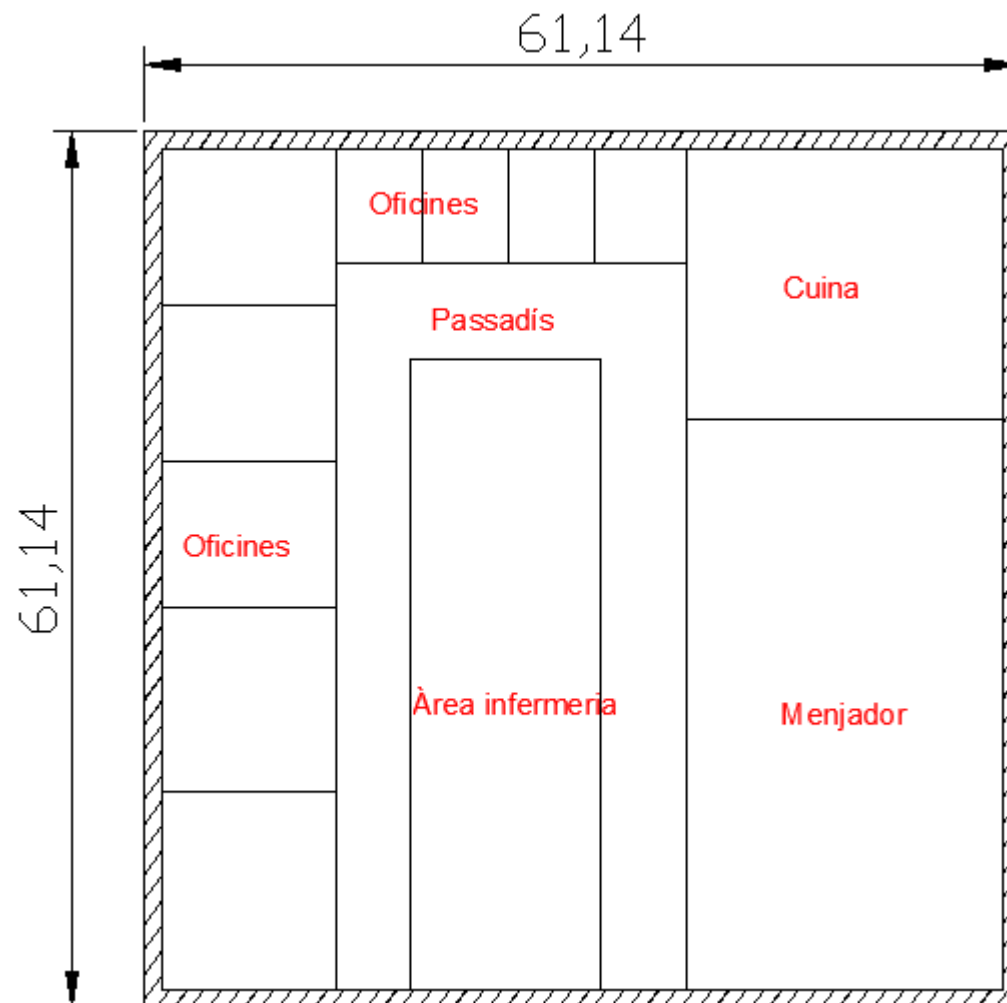
 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	Projecte Final de Grau: Instal·lació de trigeneració amb biomassa	Plànol 4/8
Tercera Planta  Escala: 1:550 Data: 15/06/2015	Estudiant d'Enginyeria Mecànica:  Jaume Farré Farré	


**QUARTA PLANTA**



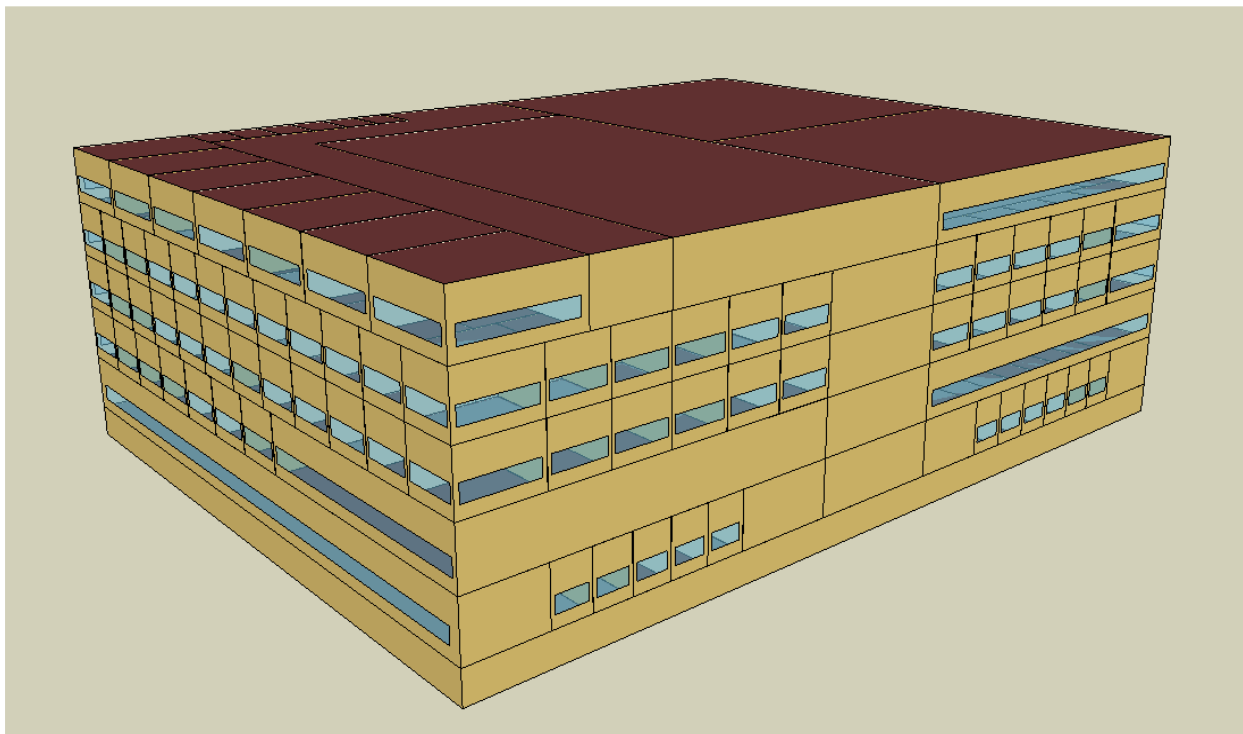
 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	Projecte Final de Grau: Instal·lació de trigeneració amb biomassa	Plànol 5/8
Quarta Planta  Escala: 1:550 Data: 15/06/2015	Estudiant d'Enginyeria Mecànica:  Jaume Farré Farré	


**CINQUENA PLANTA**



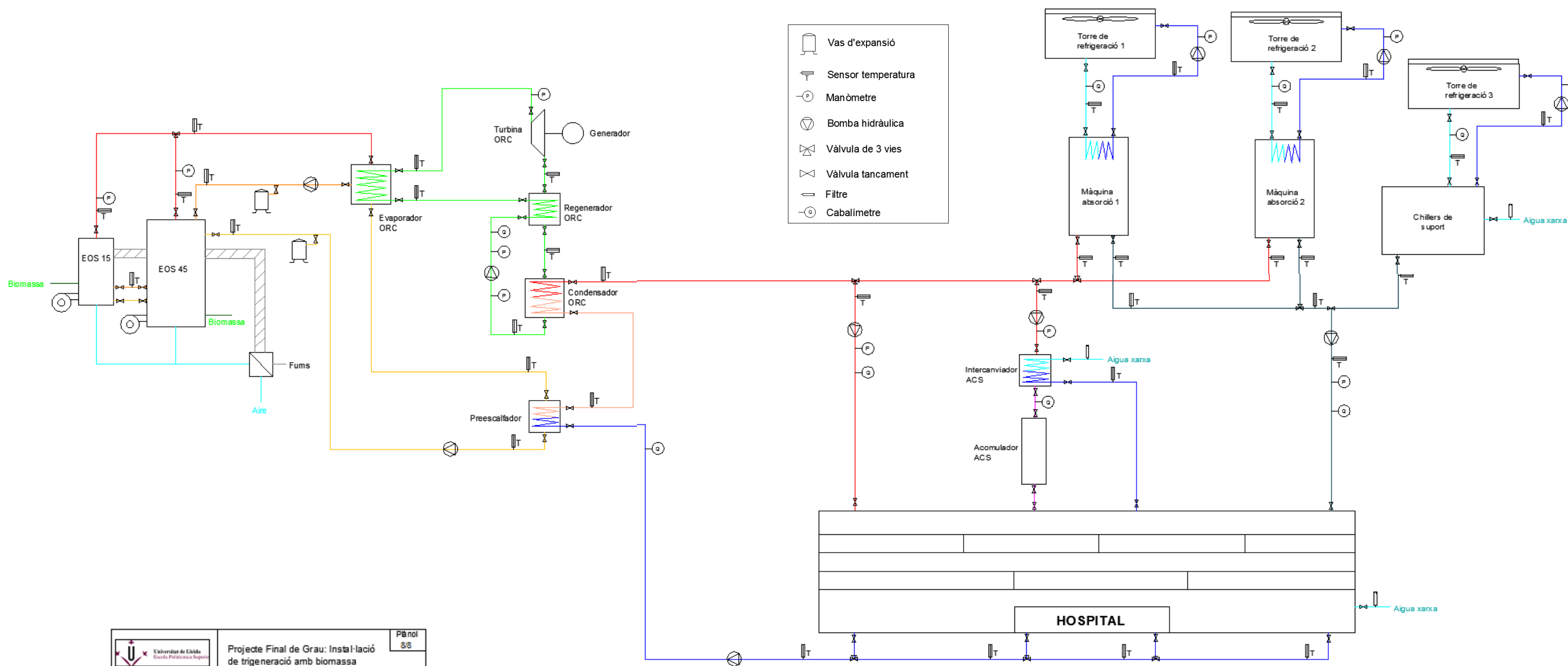
	Projecte Final de Grau: Instal·lació de trigeneració amb biomassa	Plànol 6/8
Cinquena Planta  Escala: 1:550 Data: 15/06/2015	Estudiant d'Enginyeria Mecànica:  Jaume Farré Farré	


## VISIÓ GENERAL DE L'HOSPITAL SIMULAT



 Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior	Projecte Final de Grau: Instal·lació de trigeneració amb biomassa	Pànel 7/8
Visió general de l'hospital  Escala: 1:550 Data: 15/06/2015	Estudiant d'Enginyeria Mecànica:  Jaume Farré Farré	

## ESQUEMA D'INSTAL·LACIONS



 <p>Universitat de Lleida Escola Politècnica Superior</p>	<p>Projecte Final de Grau: Instal·lació de trigeneració amb biomassa</p>	<p>Pàgini 8/8</p>
<p><b>ESQUEMA GENERAL D'INSTAL·LACIONS</b></p>	<p>Estudiant d'Enginyeria Mecànica:</p>	
<p>Data: 15/06/2015</p>	<p>Jaume Farré Farré</p>	

## 8. Conclusions

L'objectiu d'aquest projecte era contribuir en l'eficiència energètica i en l'ús d'energies renovables fent un estudi tècnic i econòmic d'un sistema de trigeneració amb biomassa en un hospital situat Lleida. Partint d'una simulació feta amb Energy Plus es van tenir dades de demandes energètiques (electricitat, calor i fred) horàries durant les 8700 hores de l'any.

A partir les demandes es va dimensionar els sistema amb calderes de biomassa per produir energia tèrmica, turbina ORC per crear electricitat, sistemes d'absorció per produir fred a partir de calor residual, així com altres elements secundaris que fan que aquests tres sistemes principals funcionin correctament.

Analitzant els resultats obtinguts en la realització del projecte es desprèn que la implantació d'una planta de trigeneració amb biomassa en un edifici on es té un consum energètic "constant" durant tot l'any és viable, tant tecnològic com econòmicament.

L'elecció de les calderes de biomassa de la marca EOS del Grupo Nova Energia models EOS 45 i EOS 15, la unitat ORC Infininty Turbine 50 i les màquines d'absorció HVAR L-Series satisfan completament les necessitats de calor durant tot l'any i part de les frigorífiques i elèctriques. Es compleix l'objectiu d'eliminar les calderes de gas i només dependre d'energia renovable. La part restant de fred es proporciona amb autoconsum dels chillers i amb part elèctrica. També cal dir que un inconvenient de fer servir un cicle orgànic de Rankine és la baixa eficiència elèctrica de la turbina (10%), amb una potència màxima de generació de 55 kWe, molt lluny de suplir la demanda elèctrica total horària. L'avantatge és que disposa d'un gran rendiment tèrmic.

De l'estudi econòmic es desprèn un estalvi anual en la factura elèctrica per la part que supleixen les màquines d'absorció dels chillers i l'energia elèctrica sobrant de la turbina en hores de baixa demanda de fred. També es redueix el preu final de compra del combustible anual, ja que el kWh de gas és més car que el de la biomassa tot i la major demanda en les calderes de biomassa.

Fent la comparativa entre els costos totals de l'estat sense trigeneració i amb trigeneració, amb un període de 7 anys i 6 mesos s'amortitza la instal·lació, amb un TIR del 8,564%.

També cal dir que la viabilitat econòmica real depèn de l'evolució dels preus del mercat del gas natural, l'electricitat i la biomassa. Com major sigui la diferència entre els costos elèctrics i els del combustible, major serà l'estalvi i la rentabilitat.

## 9. Agraïments

Voldria donar les gràcies especialment al tutor del projecte, Marc Medrano Martorell, pel tracte rebut, per donar-me suport i el seu punt de vista en els moments que ho requerien i la paciència mostrada en tot moment.

També agrair la paciència i suport de la família en moments una mica estressants i en les moltes hores de feina del projecte.

He de dir que he aprofundit i après molt en aquests mesos i que ha estat un plaer poder fer un projecte com aquest.

## 10. Bibliografia

- [1] IDAE, *Calor y frío renovables*, Energías renovables, 2012.
- [2] IDAE, *Análisis del potencial de Cogeneración de alta eficiencia en España 2010-2015-2020*. División de Ahorro y Eficiencia Energética, Departamento de Transformación de la Energía. 87 pp.
- [3] J.I. Linares y B.Y. Moratilla, *Eficiencia Energética de la Edificación*, Universidad Pontificia de Comillas, 2008.
- [4] IDAE, *Biomasa: Producción eléctrica y cogeneración*, Energías renovables. Energía de la biomasa, 2007.
- [5] Fedit, *Biomasa. Oportunidades para el sector de fabricantes de Bienes de Equipo*. 2011
- [6] Fenercom. *Guía de la cogeneración*. Madrid, 2010.
- [7] Conceptos generales en cogeneración, <http://www.empresaeiciente.com>; 2015 [visitada març 2015].
- [8] Ciclo Brayton, [http://eribera\\_bo.tripod.com](http://eribera_bo.tripod.com); 2015 [visitada març 2015].
- [9] Power cycles for Electricity Generation, <http://www.powerfromthesun.net>; 2015 [visitada març 2015].
- [10] The vapor compression refrigeration cycle, <http://coolingdevice.net/4.html>; 2015 [visitada març 2015].
- [11] La energia de la biomassa, <http://www.biomasatoledo.net>; 2015 [visitada abril 2015].
- [12] I. Fernández, S.F. Pérez, Carlos J. Renedo, *Ciclos de Refrigeración*. Termodinámica y Máquinas Térmicas. Dpto. Ingeniería Eléctrica y Energética, U. Cantabria.
- [13] C. M. León, *Dimensionamiento de potencia de sistemas de cogeneración*, Bosch Termotecnica.

- [14] A.M. Sin, *Diseño de una instalación experimental de trigeneración con biomassa*. Proyecto Final de Carrera. Universidad de Zaragoza. Febrero 2011.
- [15] J.M. Roqueta, *La cogeneración en Europa y la medida de la eficiencia*, COGEN España. Noviembre 2009.
- [16] IDAE, *Guía de ahorro y eficiencia energética en Hospitales*. Madrid, 2010.
- [17] MIET, *Energía en España 2013*. Madrid.
- [18] GE Power & Water, *Sistemas de cogeneración en hospitales*, 2013.
- [19] M. López Cristià, *Hospitales eficientes: Una revisión del consumo energético optimo*. Tesis Doctoral. U. Salamanca, 2011.
- [20] Consumos, medidas y potenciales ahorros en edificios. Asociación de Empresas de Efic. Energética.
- [21] M.A. Lozano, J. Ramos y S. Sánchez, *Optimización de sistemas de trigeneración para hospitales*. VIII Congreso Iberoamericano de Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración (CIAR 2005, Montevideo, Uruguay). Univ. de Zaragoza.
- [22] *Cogeneration for Heating and Cooling in Hospitals*. Thermie Programme Action N° B107, Institut Català d'Energia, 1995.
- [23] Vijay Kumar Attri, Arpita Sachdev, Manoj Kumar, *Performance Evaluation of Trigeneration Systems*. International Conference on Advanced Developments in Engineering and Technology (ICADET-14), INDIA.
- [24] C. M.González-Navarro, A.M.Blanco-Marigorta, and J. A.Peña-Quintana, *Design of a trigeneration system for a hospital complex in Gran Canaria*. Department of Process Engineering. University of Las Palmas de Gran Canaria, 2011.
- [25] S.C. Hu, J.D. Chen and Y.K. Chuah, *Energy cost and consumption in a large acute hospital*. Department of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering. National Taipei University of Technology. October 2003.
- [26] M. Medrano, A. Castell, G. Fontanals, C. Castellón, L.F. Cabeza, *Economics and climate change emissions analysis of a bioclimatic institutional building with trigeneration and solar support*. Applied Thermal Engineering 28 (2008) 2227–2235.
- [27] G.K. Alexis, P. Liakos, *A case study of a cogeneration system for a hospital in Greece. Economic and environmental impacts*. Applied Thermal Engineering 54 (2013) 488-496.
- [28] E. Bonnema, I. Doebber, S. Pless, P. Torcellini, *Development of the Advanced Energy Desing Guide for Small Hospitals and Healthcare Facilities*. National Renewable Energy Laboratory, March 2010.
- [29] IDAE, *Condiciones climáticas exteriores de proyecto*, Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización 12. Madrid 2010.



- [30] Secretaria de Estado de Energia, *La Energía en España 2013*, Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Madrid 2013.
- [31] Grupo Nova Energia, *Calderas de biomassa para la producción de agua caliente, agua sobrecalentada, vapor o aceite térmico*. [www.gruponovaenergia.com](http://www.gruponovaenergia.com); 2015 [visitada maig 2015].
- [32] Bosch. Módulos de cogeneración de Bosch (CHP). [www.bosch-industrial.com](http://www.bosch-industrial.com); 2015 [visitada maig 2015].
- [33] Herz Termosun. *Calderas de biomassa Herz*. [www.termosun.com](http://www.termosun.com); 2015 [visitada maig 2015].
- [34] Mawera (Viesmann Group). Calderas de biomassa hasta 13000 kW. [www.mawera.co.uk](http://www.mawera.co.uk); 2015 [visitada maig 2015].
- [35] TURBODEN, *Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass plants*, [www.turboden-eu](http://www.turboden-eu); 2015 [visitada maig 2015].
- [36] Infinity Turbine, *Documentació tècnica sobre ORC*. [www.infinityturbine.com](http://www.infinityturbine.com); 2015 [visitada maig 2015].
- [37] SorTech AG, *Documentació tècnica de màquines d'absorció*. [www.sortech.de](http://www.sortech.de); 2015 [visitada juny 2015].
- [38] Técnicas evaporativas S.L. (TEVA), *Documentació tècnica torres de refrigeració*. [www.teva.es](http://www.teva.es); 2015 [visitada juny 2015].
- [39] Viessmann, *Acomuladores e intercambiadores ACS*. <http://www.viessmann.es>; 2015 [visitada juny 2015].
- [40] D. Zihir, A. Poredos, *Economics of a trigeneration system in a hospital*. Applied Thermal Engineering 26 (2006) 680–687.
- [41] A. Martín, *Estudio y simulacion de un edificio con Energy Plus*. Proyecto Final Carrera, Septiembre 2010.
- [42] B. Liu, *Energy and Cost Saving Analysis of ASHRAE Standard 90.1-2010*. U.S. Department of Energy. May 2011.
- [43] M. Moya, *Sistemas avanzados de microtrigeneración con microturbinas de gas y enfriadoras por absorción con disipación por aire*. Tesis doctoral. Universitat Rovira i Virili. Tarragona 2011.
- [44] C. Amengual, *Implantación central de biomasa forestal y aprovechamiento de las masas forestales* Proyecto Final de Carrera. EPSEB Barcelona 2013.